



**MIGUEL TAVARES
PASCOAL**

**Aplicação do EPANET ao Sistema Regional do
Carvoeiro e análise do comportamento de
indicadores de eficiência**



**MIGUEL TAVARES
PASCOAL**

**Aplicação do EPANET ao Sistema Regional do
Carvoeiro e análise do comportamento de
indicadores de eficiência**

Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor José Figueiredo, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais pelo incansável apoio e por toda a confiança depositada em mim.

o júri

Presidente

Prof. Doutora Maria Helena Gomes de Almeida Gonçalves Nadais
Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutor José Figueiredo Silva
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor António Gil D'Orey Andrade Campos
Professor Auxiliar do Departamento Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Começo por agradecer Engenheiro Fausto Oliveira, à Engenheira Ana Camacho e a toda a equipa da Águas do Vouga, por me terem acolhido tão bem na empresa e por me terem ajudado em tudo o que puderam ao longo do estágio.

De seguida agradeço ao Professor José Figueiredo, pelo acompanhamento e apoio ao longo de todo o estágio e escrita do relatório.

Por fim quero agradecer a toda a minha família e amigos por me terem acompanhado em todo este percurso.

palavras-chave

sistema de distribuição em alta, modelação, EPANET, desempenho hidráulico, avaliação de qualidade da água

resumo

O presente relatório enquadra-se no âmbito do estágio curricular inserido no curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro. O estágio teve início a 4 de dezembro de 2017 e término a 8 de junho de 2018, e realizou-se na empresa Águas do Vouga, S.A., situada no concelho de Albergaria-a-Velha.

O principal objetivo do estágio foi a aplicação do programa de modelação EPANET ao Sistema Regional do Carvoeiro e assim dotar a empresa de uma ferramenta que a auxilie na gestão e manutenção do sistema em alta. Adicionalmente, com o modelo obtido, foi possível a simulação de uma semana de funcionamento do sistema para análise do comportamento de indicadores de eficiência e de qualidade da água. Por fim, foram efetuados um par de cenários para situações futuras.

A construção do modelo foi sustentada pela informação presente em diversas plataformas, nomeadamente, na base de dados do sistema centralizado de telegestão e telecontrolo, em telas finais de projetos, dados de cadastro, entre outras, e que foi possível ter acesso aquando da integração na empresa. Também foi possível a análise de caudais fornecidos no sistema por forma a definir padrões de consumo e ainda a análise da operação dos grupos de bombagem nas estações elevatórias.

Ainda durante este período foi possível participar em procedimentos mais práticos como nas rotinas de manutenção das válvulas do Sistema Regional do Carvoeiro e ter contacto e sensibilização com a operação da estação de tratamento de água do Carvoeiro.

keywords

adduction distribution systems,modeling, EPANET, hydarulic performance, water quality assessment

abstract

The current report is part of the curricular internship included in the Integrated Master's in Environmental Engineering course at the University of Aveiro. The internship began on December 4th of 2017 and ended on June 8th of 2018 and was performed at Águas do Vouga, S.A., located in the municipality of Albergaria-a-Velha.

The main purposes of the internship were the application of the modeling software EPANET to the Carvoeiro Regional System (Sistema Regional do Carvoeiro) and thus provide the company with a tool to assist in the management and maintenance of the distribution system. Additionally it was possible to simulate a week of system operation in order to analyze the behavior of water quality and efficiency indicators. Finally a couple of scenarios were made to simulate future situations.

The model construction was supported by the existing information present in several platforms, specifically in the database of the centralized remote monitoring system, in final project screens, registration data, among others. It was also possible to analyze the flow rates provided in the system with the aim of defining consumption patterns and the analysis of the operation of the pumping groups in the lift stations.

During this period, it was possible to participate in practical procedures such as the maintenance routines of Carvoeiro Regional System valves and have some familiarization with the Carvoeiro water treatment plant operation.

Índice

Capítulo I - Introdução	1
1. Enquadramento.....	1
2. Objetivo do Estágio	3
3. Águas do Vouga, S.A.	3
4. Associação de Municípios do Carvoeiro – Vouga	4
5. Sistema Regional do Carvoeiro.....	4
6. Expansão do SRC.....	6
7. Gestão Patrimonial de Infraestruturas	7
8. Estrutura do relatório de estágio.....	8
Capítulo II – Modelos para redes de abastecimento.....	11
1. Modelação de sistemas de abastecimento urbano de água.....	11
2. Aplicações da modelação de sistemas de abastecimento urbano de água	13
3. EPANET	14
3.1. Descrição do programa.....	14
3.2. Capacidades de modelação hidráulica.....	15
3.3. Capacidades de modelação de qualidade da água	16
4. Elementos da rede	17
Capítulo III – Metodologia para aplicar o EPANET ao SRC	19
1. Faseamento do trabalho a realizar	19
2. Planeamento da construção do modelo	21
3. Construção do modelo – descrição física do sistema	23
3.1. Nós	24
3.2. Condutas.....	25
3.3. Reservatórios de Nível Fixo (RNF).....	26
3.4. Reservatórios de Nível Variável (RNV)	27
3.5. Válvulas.....	30
3.6. Estações elevatórias.....	31
3.6.1. Bombas.....	32
Capítulo IV – Operacionalização do modelo	35
1. Consumos	35
2. Tratamento de séries temporais de caudal e determinação de padrões de consumo	36
3. Controlo Operacional	37

4. Qualidade da água	41
5. Implementação da solução base e correção de erros de estrutura do modelo	41
6. Identificação e correção de erros de funcionamento do modelo	43
7. Procedimento de Calibração.....	44
Capítulo V – Análise de dados e calibração do modelo.....	47
1. Análise ao volume total fornecido.....	47
2. Análise dos volumes fornecidos nos pontos de entrega	48
2.1. Entrega de caudal à entrada dos reservatórios apoiados	48
2.2. Entrega de caudal à saída dos reservatórios apoiados.....	50
3. Resultados da calibração	52
Capítulo VI – Discussão dos resultados de modelação	57
1. Exploração do modelo.....	57
2. Análise do desempenho hidráulico	57
2.2. Indicadores de caudal	60
2.3. Indicadores de pressão	64
2.4. Indicadores de perda de carga	68
2.5. Indicadores de velocidade de escoamento.....	71
3. Aplicação à avaliação da qualidade da água	73
4. Análise da operação das bombas.....	78
Capítulo VII – Discussão de cenários e conclusões	81
1. Cenários realizados	81
1.1. Análise à capacidade de reserva dos reservatórios.....	81
1.2. Análise do desempenho hidráulico em cenários de aumento de consumo.....	82
1.3. Análise da necessidade de recloração tendo por base a idade da água.....	85
2. Conclusão	86
Bibliografia	89
Anexo I – Condutas do SRC I.....	91
Anexo II – Condutas do SRC II	93
Anexo III – Dados de verificação de calibração do modelo	97

Índice de figuras

Figura 1: Sistema Regional do Carvoeiro.	6
Figura 2: Faseamento para o desenvolvimento do modelo	19
Figura 3: Captação de água do SRC.....	27
Figura 4: Representação das captações do SRC no modelo.....	27
Figura 5: Turbina hídrica (TERESA) à entrada do R6.....	30
Figura 6: Representação de uma válvula PSV/PRV a montante de um RNV.....	31
Figura 7: Padrões temporais com passo de a) sessenta minutos e b) doze minutos	36
Figura 8: Exemplo de um padrão de consumo temporal (ponto de entrega em Silveiro).	37
Figura 9: Esquema hidráulico do SRC no modelo EPANET.....	42
Figura 10: Caudal médio diário (m^3/dia) em função do dia da semana no ano de 2017.	47
Figura 11: Caudal médio diário (m^3/dia) em função do mês no ano de 2017.	48
Figura 12: Padrões temporais de caudal (m^3/h) nos pontos de entrega de R4 – Vale Grande, Palhaça e Recardães.	49
Figura 13: Padrão temporal de caudal (m^3/h) no ponto de entrega de Ervedal	50
Figura 14: Padrões temporais de caudal (m^3/h) à saída dos reservatórios R1, R4 e R9.	50
Figura 15: Padrão temporal de caudal (m^3/h) à saída do reservatório R6.....	51
Figura 16: Padrão temporal de caudal (m^3/h) à saída do reservatório R7.	52
Figura 17: Variação da pressão (m.c.a) no ponto de entrega R0-Centro de Saúde.	53
Figura 18: Variação do nível (m) de água no reservatório R4 ao longo do dia.....	53
Figura 19: Variação do caudal (m^3/h) à saída da EE1 ao longo do dia.	54
Figura 20: Variações da pressão (bar) ao longo do dia na entrada dos reservatórios a) R12, b) R15 e c) R17.....	55
Figura 21: Variação da pressão (bar) no ponto de entrega de Ervedal ao longo do dia.	56
Figura 22: Mapa de isolinhas da topografia do sistema.	58
Figura 23: Representação dos diâmetros (mm) das condutas.	59
Figura 24: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RPA, ao longo da simulação.....	60
Figura 25: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RPA para os instantes de simulação 144h a 168h, sábado.....	60
Figura 26: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RBeco, ao longo da simulação.	61
Figura 27: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RBeco para os instantes de simulação 144h a 168h, sábado.....	62
Figura 28: Distribuição do caudal (m^3/h) ao longo do sistema, para o instante de consumo máximo.....	63
Figura 29: Pressão (m.c.a) nos diversos nós para o instante de menor consumo da simulação. .	65
Figura 30: Representação da pressão (m.c.a) no sistema sem a utilização de PRV.....	67
Figura 31: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrega à entrada do R6 (Aveiro).	69
Figura 32: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrada do R17 (São Jacinto).	69
Figura 33: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrada do RGafanhas (Gafanhas).	70
Figura 34: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrega do R4-Vale Grande. .	70
Figura 35: Velocidade de escoamento (m/s) ao longo do sistema.	72

Figura 36: Distribuição relativa da idade da água em todo o SRC para 192 horas de simulação.	73
Figura 37: Distribuição relativa da idade da água em todo o SRC para 24 horas de simulação.	74
Figura 38: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R6 (Aveiro).	75
Figura 39: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R17 (São Jacinto).	75
Figura 40: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R11 (Avanca).	76
Figura 41: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R5 (Angeja).	76
Figura 42: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até ao ponto de entrega de Silveiro.	77
Figura 43: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até ao ponto de entrega do R4-Vale Grande.	77
Figura 44: Pontos de medição de a) caudal e b) pressão.	78
Figura 45: Representação do 1º cenário para a nova estação elevatória.	83
Figura 46: Representação do 2º cenário para a nova estação elevatória.	84

Índice de tabelas

Tabela 1: Elementos utilizados em modelação de sistemas de abastecimento urbano de água.	17
Tabela 2: Componentes físicos do EPANET, respetivos dados necessários e fonte.	18
Tabela 3: Principais grandezas consideradas na modelação.	22
Tabela 4: Designação dos reservatórios intermédios do SRC.	22
Tabela 5: Designação dos reservatórios e respetivos pontos de entrega/consumo do SRC.	23
Tabela 6: Cotas topográficas de alguns nós – pontos notáveis.	24
Tabela 7: Material das condutas e respetivo coeficiente de rugosidade.	26
Tabela 8: Características dos reservatórios a modelar.	29
Tabela 9: Estações elevatórias do sistema.	32
Tabela 10: Consumos-base associados aos respetivos pontos de entrega/consumo.	35
Tabela 11: Controlos simples utilizados no modelo.	38
Tabela 12: Controlos “Rule-based” utilizados no modelo.	39
Tabela 13: Controlos “Rule-based” utilizados no modelo (continuação).	40
Tabela 14: Extensão das condutas tendo o conta o seu diâmetro.	58
Tabela 15: Caudal e pressão medidos <i>in situ</i> e no sistema de telegestão.	79
Tabela 16: Capacidade de reserva de água tratada dos reservatórios pertencentes ao SRC, em horas.	82
Tabela 17: Resultados obtidos no modelo para as alterações efetuadas no funcionamento da EE1 e EE2 – 1º cenário.	83
Tabela 18: Resultados obtidos com o aumento dos diâmetros internos das condutas das novas estações elevatórias.	84
Tabela 19: Resultados obtidos no modelo para as alterações efetuadas no funcionamento da EE1 e EE2 – 2º cenário.	84
Tabela 20: Condutas pertencentes ao SRC I.	91

Tabela 21: Condutas pertencentes ao SRC I (continuação).	92
Tabela 22: Condutas pertencentes ao SRC II.	93
Tabela 23: Condutas pertencentes ao SRC II (continuação).	94
Tabela 24: Condutas pertencentes ao SRC II (continuação).	95
Tabela 25: Condutas pertencentes ao SRC II (continuação).	96
Tabela 26: Dados de verificação de calibração em função do nível de água nos reservatórios R1, R2, R4, R8, R9 e R11.	97
Tabela 27: Dados de verificação de calibração em função do nível de água nos reservatórios R1, R2, R4, R8, R9 e R11 (continuação).	98
Tabela 28: Dados de verificação de calibração em função do nível de água nos reservatórios R1, R2, R4, R8, R9 e R11 (continuação).	99
Tabela 29: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R3, R5, R7 e R10.	100
Tabela 30: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R3, R5, R7 e R10 (continuação).	101
Tabela 31: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R3, R5, R7 e R10 (continuação).	102
Tabela 32: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R12, R15, R17 e R1Gafanhas.	103
Tabela 33: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R12, R15, R17 e R1Gafanhas (continuação).	104
Tabela 34: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R12, R15, R17 e R1Gafanhas (continuação).	105
Tabela 35: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Palhaça, Ervedal, Lavandeira e Mamarrosa.	106
Tabela 36: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Palhaça, Ervedal, Lavandeira e Mamarrosa (continuação).	107
Tabela 37: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Palhaça, Ervedal, Lavandeira e Mamarrosa (continuação).	108
Tabela 38: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Bustos, R0-Centro de Saúde, R1-Cortal e R4-Vale Grande.	109
Tabela 39: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Bustos, R0-Centro de Saúde, R1-Cortal e R4-Vale Grande (continuação).	110
Tabela 40: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Bustos, R0-Centro de Saúde, R1-Cortal e R4-Vale Grande (continuação).	111
Tabela 41: Dados de verificação de calibração em função do caudal nas estações elevatórias do SRC.	112
Tabela 42: Dados de verificação de calibração em função do caudal nas estações elevatórias do SRC (continuação).	113
Tabela 43: Dados de verificação de calibração em função do caudal nas estações elevatórias do SRC (continuação).	114

Abreviaturas

AdRA	Águas da Região de Aveiro
AMC-V	Associação de Municípios de Carvoeiro - Vouga
CAD	<i>Computer aided design</i>
CV	<i>Check valve</i> (Válvula de retenção)
ERSAR	Entidade Reguladora de Serviços de Águas e Resíduos
ETA	Estação de tratamento de água
FCV	<i>Flow control valve</i> (Válvula reguladora de caudal)
GPI	Gestão patrimonial de infraestruturas
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
PRV	<i>Pressure reducing valve</i> (Válvula redutora de pressão)
PSV	<i>Pressure sustaining valve</i> (Válvula de controlo da pressão a montante)
RNF	Reservatório de nível fixo
RNV	Reservatório de nível variável
RPA	Reservatório Principal de Albergaria
SRC	Sistema Regional do Carvoeiro
TCV	<i>Throttle control valve</i> (Válvula borboleta)

Capítulo I - Introdução

1. Enquadramento

Os sistemas de abastecimento de água têm vindo a beneficiar populações e as suas economias ao longo de várias décadas. Porém os serviços proporcionados por estes sistemas não se encontram acessíveis a toda a gente. Em muitas regiões do planeta não existe a capacidade de satisfazer as necessidades básicas de água potável e de saneamento (Loucks & van Beek, 2017). O acesso a este recurso depende não só da sua disponibilidade no local, como também da situação económica e social das populações. Sendo este recurso de extrema importância e de acesso limitado, esforços devem ser feitos por um uso cada vez mais eficiente da água.

Tendo em conta a Diretiva Quadro da Água, principal instrumento político relativo à água, estabelecida pela União Europeia e consequentemente transposta para a legislação nacional no Decreto-Lei 58/2005 de 29 de dezembro, é fundamental o uso sustentável, equilibrado e equitativo da água, garantindo a sua provisão às populações em quantidade e qualidade.

Percebe-se, portanto, a elevada importância que o setor de distribuição de água tem nas sociedades modernas, estando a sua operação e manutenção diretamente ligadas ao bem-estar das populações. Com o objetivo de garantir bons níveis de serviço de forma sustentável, o desempenho do sistema deve ser alvo de avaliações. É por isso que a integração de metodologias que permitam a realização destas avaliações pode ajudar a criar mecanismos competitivos que levam a uma cultura de eficiência e melhoria contínua. (Alves, Muranho, Albuquerque, & Ferreira, 2014)

Como é público, o crescimento populacional é dos temas em maior destaque nos dias de hoje. De acordo com as Nações Unidas é estimado que a população mundial aumente em cerca de 80 milhões por ano e é previsto que se aproxime dos 10 biliões em 2050. Estima-se, ainda, que atualmente cerca de 50% da população mundial viva em zonas urbanas e que esta percentagem aumente com o passar dos anos. As populações optam por se instalar nestas zonas, de forma a terem acesso a melhores condições económicas. (UNESCO, 2012)

Com cidades a dar origem a megacidades, percebe-se a necessidade de se integrar o planeamento e gestão das infraestruturas ligadas ao abastecimento de água com o planeamento urbano das cidades. (Loucks & van Beek, 2017)

Não só o problema do aumento populacional afeta este setor, como também as alterações climáticas começam a ter um papel preponderante neste. Tem-se vindo a assistir a nível global ao

aumento das consequências das alterações climáticas. Temos o exemplo destes últimos dois anos (2017 e 2018) em que grande parte do território se encontrou, durante larga parte do ano, num regime de seca severa a extrema. Torna-se, portanto, imprescindível a realização de avaliações aos sistemas, por forma, não só a garantir um serviço de qualidade às populações, como também aumentar a eficiência e sustentabilidade destes e do recurso natural utilizado. Estas avaliações podem ser feitas com recurso a programas de modelação.

A modelação proporciona a principal forma de prever o comportamento ou desempenho de projetos de sistemas de infraestruturas ou de políticas de gestão. (Loucks & van Beek, 2017) Já novos sistemas de abastecimento, não só devem apresentar uma redução de custos económicos e de impactes ambientais, como também devem apresentar um maior grau de fiabilidade ao serviço. (Wessex Institute, 2012)

Para além disso, a aplicação de modelos a sistemas já existentes ajuda na melhoria da sua compreensão e contribui para o aperfeiçoamento do seu *design*, pois permite o diagnóstico de funcionamento dos sistemas de transporte e distribuição de água. (Loucks & van Beek, 2017)

É possível afirmar que a modelação de sistemas de abastecimento de água urbano se trata de uma das ferramentas de apoio mais úteis no processo de apoio à tomada de decisão neste setor de atividade. Os problemas podem ser antecipados e as soluções avaliadas antes dos investimentos serem realizados. É possível a realização de simulações de situações que na prática não ocorrem frequentemente e que podem dar origem a riscos para o sistema e para os consumidores.

Em Portugal o uso deste tipo de ferramentas tem vindo a aumentar. As entidades gestoras percebem a utilidade das várias funcionalidades destes modelos na conceção, operação e manutenção de redes de distribuição, permitindo ainda verificar o cumprimento do Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de agosto, que regula os sistemas de distribuição pública e predial de água e de drenagem pública e predial de águas residuais, para que seja assegurado o seu bom funcionamento global, preservando-se a segurança, a saúde pública e o conforto dos utentes.

Também com a entrada em vigor do Decreto-Lei 194/2009 de 20 de agosto – que legisla a promoção e manutenção de um sistema de gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) – o uso destas ferramentas torna-se cada vez mais imprescindível.

No decorrer do presente estágio curricular, realizado na Águas do Vouga, S.A., foi utilizado o EPANET como *software* de modelação, com o objetivo de desenvolver um modelo para a recente expansão do Sistema Regional do Carvoeiro (SRC) que permita a simulação do seu comportamento e que seja uma mais-valia para a sua entidade gestora.

2. Objetivo do Estágio

O objetivo geral deste estágio incide na análise hidráulica e de qualidade da água do SRC, tendo em conta a recente expansão do sistema, no que toca à captação, tratamento, adução e armazenamento.

No âmbito desta análise pretende-se ter contacto com os componentes do sistema de adução pertencentes ao SRC e a sua operação.

Podem ser definidos como objetivos específicos deste estágio:

- Desenvolver um modelo EPANET ao SRC após expansão e realizar a sua calibração hidráulica;
- Estudar possíveis ganhos de eficiência no sistema;
- Analisar o comportamento de indicadores de qualidade da água em vários pontos do SRC;
- Contribuir para uma possível melhoria da avaliação de riscos para os consumidores.

3. Águas do Vouga, S.A.

A empresa Águas do Vouga, S.A. foi constituída em abril de 1996 e detém a concessão do Sistema Regional do Carvoeiro. A empresa encontra-se sediada em Albergaria-a-Velha (Águas do Vouga S.A., 2013b).

A empresa é detida a 100% pelo Grupo Aquapor (Águas do Vouga S.A., 2013a). Este trata-se de um grupo que é considerado um dos maiores *players* no mercado da gestão de concessões municipais e prestações de serviços de abastecimento e de saneamento de águas residuais diretamente à população, às autarquias e às indústrias (Aquapor Serviços S.A., 2013).

A Águas do Vouga, S.A, tem como funções a exploração do SRC – sistemas de captação, tratamento, elevação, transporte e armazenamento principal de água do SRC – e provimento de um serviço de qualidade. (Camacho & Oliveira, 2011) É, portanto, responsável pela manutenção e operação das infraestruturas do sistema de abastecimento, nomeadamente, as captações subterrâneas e superficial, as estações elevatórias, a estação de tratamento de água, condutas de adução, reservatórios de água e, por fim, o sistema de telegestão, que permite a monitorização contínua do sistema. (Águas do Vouga S.A., 2013d)

A empresa assume como missão, no âmbito dos seus direitos e deveres contratuais, satisfazer as necessidades das populações de forma eficiente. Para isso, promove elevados índices de satisfação,

garantindo o abastecimento de água em quantidade e qualidade, potenciando a sua atividade como uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento económico e social a nível local e assegurando a preservação do ambiente. De modo a atingir este objetivo a empresa apresenta como principais valores: o dinamismo e profissionalismo, o espírito de equipa, a criação de valor, o respeito pelo ambiente, a ética e a estabilidade. (Águas do Vouga S.A., 2013c)

4. Associação de Municípios do Carvoeiro – Vouga

A Associação de Municípios do Carvoeiro – Vouga (AMC – V) trata-se de uma associação intermunicipal, na qual estão integrados diversos municípios do distrito de Aveiro. Esta tem como função promover, realizar e unificar a exploração do serviço público de abastecimento de água e a execução das respetivas obras, na área dos municípios associados, designadamente de captação comum, tratamento, elevação e adução até aos centros de distribuição dos concelhos associados. (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017)

Historicamente, a AMC – V foi constituída a 22 de outubro de 1986 e juntou inicialmente os municípios de Águeda, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Estarreja, Ílhavo e Murtosa. Atualmente fazem também parte desta associação os municípios de Oliveira do Bairro e Vagos. Esta tinha como finalidade desenvolver um projeto de abastecimento de água aos municípios associados que garantisse o seu abastecimento às populações em quantidade e qualidade. Daqui surgiu o Sistema Regional do Carvoeiro. (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017)

5. Sistema Regional do Carvoeiro

O SRC foi originalmente concebido com o objetivo de abastecer água em alta à escala regional os concelhos de Águeda, Aveiro, Estarreja, Ílhavo e Murtosa e trata-se um projeto que integra um conjunto de órgãos de captação, tratamento, transporte e armazenamento de água. (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017) Convencionou-se chamar ao conjunto de obras necessárias a realizar SRC, precisamente devido ao facto de o Carvoeiro ser o local onde se realiza a captação de água. (Oliveira, 1985) Mais tarde, com a expansão do sistema atribuíram-se os nomes de SRC I e SRC II.

A necessidade para a criação deste projeto de abastecimento de água surgiu da dificuldade existente na captação de água em quantidade e qualidade na região. Trata-se de uma região em que os três concelhos do litoral – Ílhavo, Aveiro e Murtosa – eram abastecidos a partir de lençóis que podem sofrer processos de salinização, enquanto os restantes concelhos não possuem recursos hídricos

suficientes para abastecer as respetivas populações. (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017) Com este projeto foi possível diminuir a pressão sobre o aquífero Cretácico de Aveiro.

A construção deste projeto iniciou-se no ano de 1989, sob a concessão da AMC-V e foi concluído em 1995, tendo, o abastecimento de água às populações, sido iniciado em agosto de 1996. (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017)

Em 2013 iniciaram-se as recentes obras de ampliação e reforço do SRC (designadas por obras do SRC II) e concluíram-se em 2016. Esta expansão tornou possível o abastecimento de água a um número maior de concelhos e consequentemente um maior número de habitantes.

O sistema é essencialmente constituído por duas partes. A primeira integra a parte elevatória do sistema, onde a água é elevada desde a captação até ao Reservatório Principal de Albergaria (RPA), localizado em Albergaria-a-Velha, com um volume 7500 m³ e também para alguns reservatórios de passagem. A segunda trata-se da parte gravítica, onde se incluem todos os órgãos a jusante do RPA. Ao todo fazem parte do sistema (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017):

- Dois poços e dez furos construídos no aluvião do rio Vouga;
- Uma captação superficial no rio Vouga;
- Trinta e seis reservatórios/pontos de entrega – reservatórios que variam desde os 200 m³ até 3500 m³, para além do RPA, que como referido em cima tem uma capacidade de 7500 m³;
- Uma estação de tratamento de água (ETA) – ETA do Carvoeiro;
- Seis estações elevatórias;
- 248 000 metros de condutas que compreendem diâmetros entre os 80 e os 700 mm, de diferentes materiais, nomeadamente, PVC (policloreto de vinil não plastificado), PEAD (polietileno de alta densidade), FF (ferro fundido) e fibra de vidro

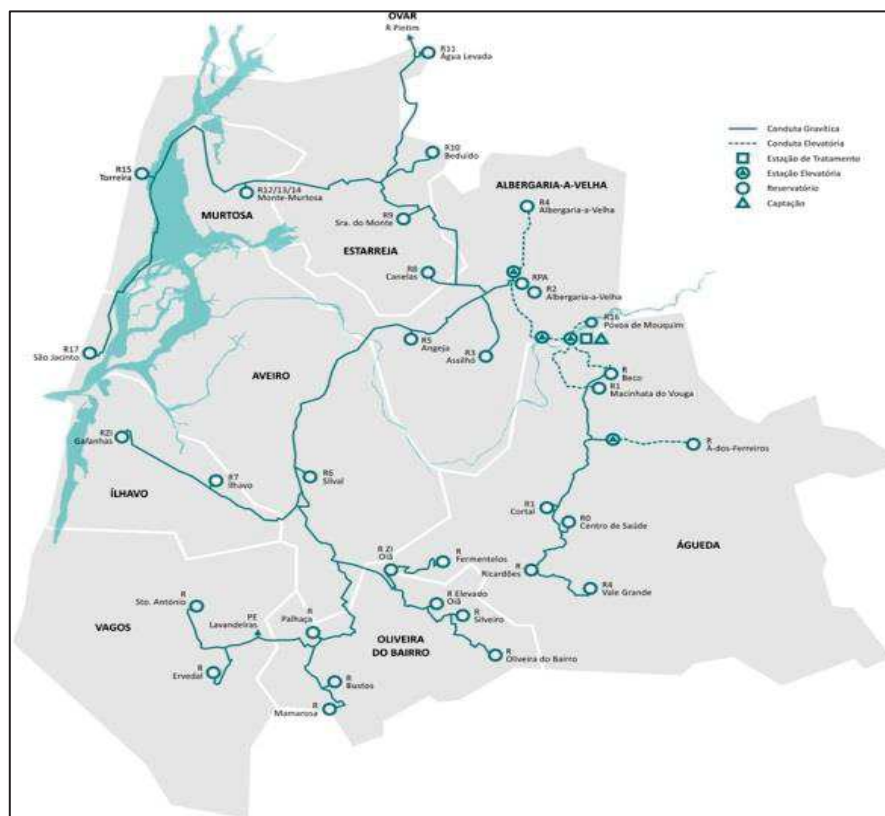


Figura 1: Sistema Regional do Carvoeiro. (Águas do Vouga)

O abastecimento de água a toda esta região está então dividido entre as entidades do sistema em alta, a Águas do Vouga, S.A. e em baixa, a Àguas da Região de Aveiro (AdRA). Existem, portanto, elementos da rede, como por exemplo, reservatórios, que são geridos pela AdRA e outros pela Águas do Vouga, S.A..

6. Expansão do SRC

A expansão do SRC surge da necessidade, face ao aumento do caudal aduzido e elevado até aos centros de distribuição, na qual foi executado o reforço do atual sistema e a ampliação aos novos municípios a abastecer. Atualmente o SRC abrange os concelhos de Águeda, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Albergaria-a-Velha, Oliveira do Bairro, Vagos e ainda a freguesia de Válega do concelho de Ovar.

A expansão consistiu na realização de diversas obras, nomeadamente (Aquapor Serviços S.A., 2013):

- Execução de uma captação superficial de reforço às captações do sub-leito do rio Vouga;

- Construção de uma ETA para um caudal de 290 L/s com o objetivo de tratar a água captada superficialmente, a montante da ETA existente;
- Adaptação da ETA existente no processo de remineralização e eliminação de cianobactérias;
- Execução de todo o sistema adutor em alta dos reservatórios necessários para os novos municípios a abastecer, e a sua inserção no sistema de telegestão e telecontrolo centralizado já existente;
- Reforço dos reservatórios existentes, cujo volume era insuficiente;
- Reforço e renovação de algumas estações elevatórias;
- Reforço das adutoras Setor Norte, nos troços onde houve a necessidade de aumentar a capacidade de transporte;
- Abastecimento a um novo ponto de entrega em Ílhavo;
- Aumento da redundância da adutora do Baixo Vouga, por forma a dar maior fiabilidade ao sistema, evitando a sua inacessibilidade quando ocorrem inundações do Rio Vouga.

7. Gestão Patrimonial de Infraestruturas

Complementando o trabalho realizado e tendo em conta a utilização e as diversas funcionalidades do EPANET, pretende-se auxiliar a entidade no processo de gestão patrimonial de infraestruturas.

A GPI é compreendida como a gestão estratégica e sustentável do património existente em infraestruturas. No caso do abastecimento de água, a GPI incide sobre a gestão dos ativos fixos tangíveis que constituem os sistemas diretamente associados à prestação do serviço, como sejam as condutas, os reservatórios, as estações elevatórias e as estações de tratamento. (Alegre & Covas, 2010)

Denomina-se, então, por GPI ao conjunto de processos que as entidades necessitam de ter em ordem, a garantir que o desempenho das infraestruturas consiga corresponder aos objetivos traçados, que os riscos sejam geridos adequadamente e que os custos associados, numa perspetiva do tempo de vida, sejam minimizados o máximo possível. (Alegre & Botelho, 2012)

Os serviços urbanos de abastecimento e distribuição de água são considerados serviços públicos essenciais, no entanto estes tendem a ser considerados pelas populações como óbvios e garantidos sendo, consequentemente, pouco valorizados. Estão dependentes de infraestruturas de elevado custo, elevada durabilidade e baixa visibilidade por serem maioritariamente enterradas. (Alegre & Covas, 2010)

Este tema torna-se particularmente relevante, a nível nacional, com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 194/2009 de 20 de agosto, relativo ao regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos urbanos. Este requer que as entidades gestoras que servem mais do que 30 mil habitantes promovam e mantenham um sistema de gestão patrimonial (Alegre & Covas, 2010). Também o plano estratégico nacional, que define os objetivos e estratégias para o setor entre 2014 e 2020, PENSAAR 2020, contempla a GPI como um vetor determinante.(ERSAR & LNEC, 2017)

Este processo deve ser abordado por toda a organização visando assegurar um equilíbrio de desempenho, risco e custo numa perspetiva de longo prazo. Trata-se de uma abordagem multidisciplinar, sendo que as principais competências envolvidas são a gestão, a engenharia e a informação, e requer uma intervenção coordenada entre diferentes níveis de planeamento (estratégico, tático e operacional). (Alegre & Covas, 2010)

8. Estrutura do relatório de estágio

O presente relatório de estágio foi estruturado em sete capítulos, sendo que os dois primeiros são mais alusivos ao trabalho teórico desenvolvido, e os restantes são relativos ao trabalho mais prático realizado ao longo do estágio. De seguida é apresentada uma pequena descrição para cada um dos capítulos:

- Introdução – neste primeiro capítulo é feito um enquadramento do tema e uma descrição dos objetivos a atingir ao longo do estágio. É também apresentada uma descrição da entidade de acolhimento e do SRC;
- Modelos para redes de abastecimento – no segundo capítulo é feita uma abordagem à modelação em sistemas de abastecimento. Neste descrevem-se os principais conceitos, características e vantagens deste tipo de modelação. Ainda neste capítulo é descrito o programa de modelação utilizado no decorrer do estágio;
- Metodologia para aplicar o EPANET ao SRC – o terceiro capítulo consiste na descrição dos métodos e processos utilizados no desenvolvimento do modelo, nomeadamente, na construção da estrutura física do sistema;
- Operacionalização do modelo – este capítulo vem no seguimento do anterior e corresponde, ainda, ao desenvolvimento do modelo, sendo focada a sua operacionalização, desde a configuração de consumos ao procedimento de calibração;

- Análise de dados e calibração do modelo – neste é feita uma breve análise aos diferentes padrões temporais de caudal observados à entrada e saída de reservatórios. Efetua-se ainda a verificação da calibração do modelo.
- Discussão de resultados de modelação – o sexto capítulo aborda já a exploração do modelo aplicado ao SRC e a obtenção de resultados. Neste é realizada uma verificação do desempenho hidráulico e de qualidade da água no sistema.
- Discussão de cenários e conclusões – por fim, no último capítulo são descritas alguns cenários efetuados recorrendo-se ao EPANET. São ainda mencionadas as principais conclusões obtidas na realização do estágio.

Capítulo II – Modelos para redes de abastecimento

1. Modelação de sistemas de abastecimento urbano de água

A modelação proporciona a principal forma de prever o comportamento ou desempenho de projetos de sistemas de infraestruturas ou de políticas de gestão. Com a necessidade de haver uma tomada de decisão consciencializada, tem-se assistido nos últimos 50 anos a grandes avanços na habilidade de modelar diversos aspetos de engenharia, economia, ecologia, hidrologia e até, por vezes, os aspetos políticos de complexos sistemas de utilização de recursos hídricos. (Loucks & van Beek, 2017) Assim sendo, a modelação computacional de sistemas de abastecimento de água tem vindo a tornar-se um dos principais pilares na indústria da água. É um exemplo de como a investigação levada a cabo, principalmente, por universidades e laboratórios governamentais foi transformada em ferramentas práticas e úteis para utilizadores diários. Este tipo de modelação atingiu um nível de maturidade e fiabilidade que fazem desta uma ferramenta valiosa a qualquer entidade que atue neste setor. (Rossman, 1999)

Um modelo pode ser formulado e resolvido de forma inteiramente manual, sem recurso a aplicações computacionais. O desenvolvimento dos métodos numéricos de resolução dos sistemas de equações envolvidos nas formulações utilizadas precedeu em várias décadas o aparecimento dos computadores. Porém, devido à complexidade e inerente lentidão dos cálculos, foi com a implementação informática que os modelos computacionais passaram a constituir uma ferramenta viável e útil para a simulação efetiva de sistemas em gamas alargadas de condições operacionais. (Coelho, Loureiro, & Alegre, 2006)

Os modelos de simulação funcionam como ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável, analisar e prever o comportamento hidráulico e de indicadores de qualidade da água do sistema, a partir das características dos seus componentes, da sua operação e consumos solicitados. (Coelho et al., 2006) Estes são representações simplificadas da realidade e são sempre baseados nalgumas suposições e aproximações que poderão levar a erros. A aplicação destas aproximações à realidade é realizada de forma a melhorar a compreensão do sistema e assim levar a melhores decisões. Requer não só habilidade por parte do analista na utilização do modelo, mas também a capacidade de comunicar e trabalhar com as partes interessadas e decisores os seus resultados. (Loucks & van Beek, 2017)

Os modelos computacionais permitem a rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e simulação de cenários variados sem ser necessário interferir com o sistema em causa ou arriscá-lo a

modos de operação desconhecidos. (Coelho et al., 2006) A sua aplicação a sistemas existentes melhorou a sua compreensão e contribuiu para a melhoria do seu *design*, da sua gestão e operação. No entanto, estes sistemas são tipicamente mais complexos do que aqueles que os analistas conseguem modelar e simular. Isto não só resulta das limitações dos modelos computacionais mas, principalmente do facto de não entendermos suficientemente as interdependências do sistema nos seus diferentes níveis, nomeadamente, nos níveis físicos, bioquímicos, ecológicos, sociais, legais e políticos que governam o comportamento destes sistemas. (Loucks & van Beek, 2017)

Os modelos de simulação hidráulica de um sistema de abastecimento de água são, essencialmente, compostos por (Coelho et al., 2006):

- Um conjunto de dados descritivos das características físicas do sistema, das suas solicitações (consumos) e das suas condições operacionais;
- Um conjunto de equações matemáticas que reproduzem o comportamento hidráulico dos componentes individuais e do sistema como uma unidade única;
- Os algoritmos numéricos necessários para a resolução desse conjunto de equações matemáticas.

Atualmente, os modelos computacionais são, também, muitas vezes considerados relevantes para levar a cabo avaliações de impacto ambiental. (Loucks & van Beek, 2017)

Segundo Rossman (1999) este tipo de modelos fornecem vantagens que enaltecem a sua aplicação a sistemas de distribuição, como por exemplo:

- A possibilidade de se realizar organização sistemática, possibilidade de editar, e verificações de erros nos dados de entrada (*input data*) requeridos pelo modelo;
- Facilitar a observação de resultados (*outputs* do modelo) pois fornece gráficos de séries temporais, histogramas, gráficos de perfis, entre outras funcionalidades;
- Permitem a possibilidade de conexão com outros *softwares*, tais como base de dados, folhas de cálculo, *computer aided design* (CAD) e sistemas de informação geográfica (SIG);
- Habilidade de efetuar outro tipo de análise de redes, como por exemplo, o dimensionamento ótimo de condutas, a calendarização ótima dos sistemas de bombagem, modelação da qualidade da água, entre outras funcionalidades.

É de fácil compreensão que estes modelos sejam os instrumentos computacionais mais utilizados no campo do projeto e do diagnóstico de funcionamento de sistemas de transporte e distribuição de água, constituindo um complemento importante ao discernimento e experiência dos técnicos

envolvidos. Os problemas podem assim ser antecipados e as soluções avaliadas antes dos investimentos serem realizados. (Coelho et al., 2006).

2. Aplicações da modelação de sistemas de abastecimento urbano de água

Como já mencionado anteriormente, os modelos de simulação têm múltiplas aplicações nos domínios do planeamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação de sistemas de transporte e distribuição de água. Podem ser destacadas de entre as suas utilizações mais comuns: (Coelho et al., 2006)

- Dimensionamento dos sistemas, através da procura das melhores topologias, da escolha de diâmetros e materiais para as condutas e restantes componentes, e do dimensionamento de reservatórios e instalações elevatórias;
- Apoio à elaboração de planos de desenvolvimento estratégico, com recurso à simulação das grandes opções, em escala não detalhada, mas com projeções no tempo, sobretudo dos consumos;
- Simulação de problemas e cenários de operação corrente, como sejam consumos de ponta sazonal, gestão dos níveis em sistemas com vários reservatórios de serviço, ou situações de emergência;
- Treino de operadores em sistemas de operação complexa, evitando que a aprendizagem possa implicar riscos diretos para o sistema e para os consumidores;
- Controlo e otimização de parâmetros de qualidade da água, como por exemplo a manutenção de uma concentração residual de cloro adequada, a localização de equipamentos de recloração, controlo de tempos de percurso ou a escolha de pontos de amostragem;
- Reabilitação de sistemas deficientes, e programação das intervenções com minimização de impacto no consumidor;
- Redução e /ou recuperação de energia de bombeamento;
- Controlo de perdas e fugas de água.

A finalidade do uso de modelos aplicados a sistemas de distribuição de água, por analistas/modeladores passa por proporcionar a decisores e partes interessadas informação útil e precisa atempadamente, sobre os sistemas em estudo. Esta informação permite, portanto, uma melhor compreensão do sistema, dos seus problemas e qual a melhor forma de os abordar. Em suma, a modelação de sistemas de abastecimento tem como principal objetivo fornecer informação útil a todos que estejam envolvidos na gestão destes sistemas. (Loucks & van Beek, 2017)

3. EPANET

O *software* de modelação escolhido para a realização deste estudo foi o EPANET. Trata-se de um programa de modelação de sistemas de distribuição de água em pressão desenvolvido pelo departamento de abastecimento de água (*Water Supply and Water Resources Management*) da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (US EPA). A primeira versão deste *software* surgiu em 1993 e foi disponibilizado ao público em janeiro 2003. (Rossman, 2000)

É um simulador amplamente testado e credível, que beneficia há mais de uma década de uma alargada comunidade de utilizadores em todo o mundo (Rossman, 2000). Em Portugal este programa e o seu guia foram adaptados e traduzidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (LNEC)

A grande vantagem para a utilização do EPANET passa pelo facto de este ser um *software* de domínio público e, portanto, acessível de forma gratuita a todos os interessados. Não só é grátis, como necessita de relativamente pequena capacidade de cálculo para operar, logo não apresenta a limitação de serem “pesados” para o computador. O EPANET vem acompanhado de um guia, também de acesso gratuito, para a sua utilização.

Este programa potencia toda a fase da aprendizagem e formação do *know-how* interno da entidade gestora, sem o prejuízo de mais tarde se tomar a opção por outro *software*, em função da evolução dos principais sistemas de informação da entidade gestora, como o sistema de telegestão, e da oferta de alternativas no mercado. (Coelho, Loureiro & Alegre, 2006)

Apesar de atualmente existirem mais opções, o EPANET, continua a ser dos *softwares* mais utilizados por indústrias, gestores, planeadores e investigadores ligados ao setor do abastecimento de água. Tornou-se uma ferramenta bastante popular, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, para a análise de redes de distribuição mais simples ou mais complexas. (Oyelowo, 2013)

Irá ser abordada de forma mais detalhada a descrição do *software*, as suas capacidades e funcionalidades no tópico seguinte.

3.1. Descrição do programa

O EPANET é um programa de computador que permite a realização de simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição de água em pressão. (Rossman, 2000)

Este *software* foi concebido com o propósito de ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, contribuindo para a melhoria do conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água para consumo humano. A sua utilização pode ser aplicada a situações onde haja necessidade de efetuar simulações de sistemas de distribuição. A possibilidade de se estabelecerem cenários de projeto (como por exemplo, expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos constituem alguns exemplos das suas funcionalidades. O EPANET consegue, portanto, auxiliar à análise de estratégias alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água através do sistema. (Rossman, 2000)

O EPANET é executável em sistema operativo *Windows* e fornece um ambiente integrado para editar dados de entrada da rede, executar simulações hidráulicas e de qualidade da água, possibilitando ainda a visualização de resultados em vários formatos, como por exemplo, a possibilidade de visualizar mapas de rede com codificação a cores, tabelas de dados, gráficos de séries temporais e gráficos de isolinhas. (Rossman, 2000)

3.2. Capacidades de modelação hidráulica

No que toca às capacidades de modelação hidráulica, o EPANET compreende um conjunto de ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica, das quais se destacam como principais características (Rossman, 2000):

- Dimensão (número de componentes) da rede a analisar ilimitada;
- Cálculo da perda de carga utilizando as fórmulas de *Hazen-Williams*, *Darcy-Weisbach* ou *Chezy-Manning*;
- Consideração das perdas de carga singulares em curvas, alargamentos, estreitamentos, etc.;
- Modelação de bombas de velocidade constante ou variável;
- Cálculo da energia de bombeamento e do respetivo custo;
- Modelação dos principais tipos de válvulas, incluindo válvulas de seccionamento, de retenção, reguladoras de pressão e de caudal;
- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável, de formas diversas, através de curvas de volume em função da altura de água;
- Múltiplas categorias de consumo nos nós, cada uma com um padrão próprio de variação no tempo;
- Modelação da relação entre pressão e caudal efluente de dispositivos emissores (p.ex. aspersores de rega, ou consumos dependentes da pressão);

- Possibilidade de basear as condições de operação do sistema em controlos simples, dependentes de uma só condição (p.ex.; altura de água num reservatório de nível variável, tempo), ou em controlos com condições múltiplas.

Uma rede completamente caracterizada e uma modelação hidráulica fiável constituem pré-requisitos essenciais para a correta modelação de qualidade da água.

3.3. Capacidades de modelação de qualidade da água

Para além da modelação hidráulica, o EPANET fornece as seguintes possibilidades relativamente à modelação da qualidade da água (Rossman, 2000):

- Modelação do transporte de um constituinte não-reativo (por exemplo, um traçador) através da rede ao longo do tempo;
- Modelação do transporte, mistura e transformação de um constituinte reativo, à medida que este sofre decaimento (por exemplo, cloro residual) ou crescimento (por exemplo, um subproduto da desinfecção) com o tempo;
- Modelação do tempo de percurso da água através da rede;
- Cálculo da percentagem de caudal que, com origem em determinado nó, atinge qualquer outro nó ao longo do tempo (por exemplo, cálculo da importância relativa de duas origens de água diferentes);
- Modelação de reações de decaimento do cloro no seio do escoamento e na parede da tubagem;
- Utilização de cinéticas de ordem n para modelar reações no seio do escoamento em tubagens e reservatórios;
- Utilização de cinéticas de ordem 0 ou 1 para modelar reações na parede das tubagens;
- Definição de limites para a transferência de massa na modelação de reações na parede;
- Permitir que as reações de crescimento ou decaimento sejam controladas por um valor de concentração-limite;
- Aplicação à rede de coeficientes de reação globais, que podem ser modificados individualmente para cada tubagem;
- Possibilidade de relacionar o coeficiente de reação na parede com a rugosidade da tubagem;
- Definição de variação temporal da concentração ou de entrada de massa em qualquer ponto da rede;

- Modelação de reservatórios de armazenamento de nível variável como reatores de mistura completa, de escoamento em êmbolo ou ainda de mistura com dois compartimentos.

Tirando partido destas possibilidades, o EPANET pode efetuar os seguintes tipos de análise (Rossman, 2000):

- Mistura de água a partir de diversas origens;
- Determinação do tempo de percurso da água através de um sistema;
- Determinação da perda de cloro residual;
- Determinação do crescimento de subprodutos da desinfecção;
- Rastreamento da propagação de contaminantes ao longo da rede.

4. Elementos da rede

O modelo de um sistema de abastecimento de água parte de uma representação esquemática da rede, na qual existem um conjunto de nós, ligados por troços que representam diferentes componentes físicos, designadamente, condutas, válvulas e bombas. As entradas e saídas de caudal têm lugar nos nós. (Coelho et al., 2006)

Os diferentes tipos de elementos usados para construção de modelos são, usualmente, transversais aos diferentes programas de modelação. Na tabela 1 é apresentado cada tipo de elemento usado para representar a rede e o seu principal propósito. (Walski et al., 2003)

Tabela 1: Elementos utilizados em modelação de sistemas de abastecimento urbano de água. (Walski et al., 2003)

Elemento	Tipo	Função
Reservatório de nível fixo (RNF)	Nó	Armazenamento a partir de um nível fixo e com capacidade ilimitada. Fornece ou recebe água do sistema.
Reservatório de nível variável (RNV)	Nó	Armazena com capacidade limitada e nível de água variável, em função do balanço dos caudais de entrada e saída. Fornece ou recebe água do sistema.
Nó	Nó	Ponto de ligação entre dois ou mais troços. Saída (consumo) ou entrada (abastecimento) de água no sistema.
Tubagem	Troço	Transporte de água entre dois nós.
Bomba	Nó ou troço	Fornecimento de energia ao escoamento entre dois nós, aumentando a sua carga hidráulica.
Válvula de controlo	Nó ou troço	Regulação de caudal e carga hidráulica no sistema baseado em diferentes critérios.

Como indicado, o EPANET foi o *software* selecionado para o desenvolvimento do modelo, pelas razões já anteriormente referidas. De seguida, são apresentados os elementos de rede (tabela 2) exclusivos a este programa de modelação. Na tabela foi especificado o tipo de informação e dados necessários à configuração de cada elemento e qual a sua origem, para o presente estudo. Nos capítulos seguintes é aprofundada a construção do modelo.

Tabela 2: Componentes físicos do EPANET, respetivos dados necessários e fonte.

Componentes físicos	Dados necessários	Fonte da informação
Condutas	Comprimento (m)	Dados de cadastro
	Diâmetro (mm)	Manual do fabricante
	Rugosidade (adimensional)	Marques & Sousa, 2006
RNF	Nível de água nas captações (m)	Sistema de telegestão
RNV	Cota (m)	<i>Google Earth</i>
	Altura inicial de água (m)	Sistema de telegestão
	Altura de água mínima (m)	Telas finais dos projetos de expansão
	Altura de água máxima (m)	Telas finais dos projetos de expansão
	Diâmetro (m)	Dados de cadastro
Nó	Cota (m)	<i>Google Earth</i>
	Consumo-base (m ³ /h)	Relatórios anuais/ Relatórios de faturação
Válvula	Diâmetro (mm)	Dados de cadastro
	Tipo (FCV -reguladora de caudal; TCV - válvula borboleta; PRV - válvula redutora de pressão; PSV – válvula de controlo de pressão a montante)	Projetos de expansão
	Parâmetros de controlo	Operadores do sistema
Bomba	Curva de bomba	Manual do fabricante

Capítulo III – Metodologia para aplicar o EPANET ao SRC

1. Faseamento do trabalho a realizar

Como já anteriormente visto, um modelo é desenvolvido com o objetivo de simular o comportamento de determinado sistema existente ou a construir. Quando o modelo recai sobre um sistema existente, está ao alcance do analista a realização de um processo de aferição de resultados de modo a aproximá-los, na medida do possível, da realidade e determinar até que ponto tal é conseguido. (Coelho et al., 2006)

O desenvolvimento deste tipo de modelos de simulação deve ser abordado de uma forma estruturada e sistemática, de modo a garantir a otimização do esforço e recursos investidos, tanto na geração da solução inicial, como na manutenção do modelo ao longo da sua vida útil. (Coelho et al., 2006)

É, então, aconselhado por Coelho *et al.* (2006), no guia técnico da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), que se realize um planeamento faseado do desenvolvimento do modelo. Na figura seguinte são apresentadas as diversas etapas propostas (figura 2).

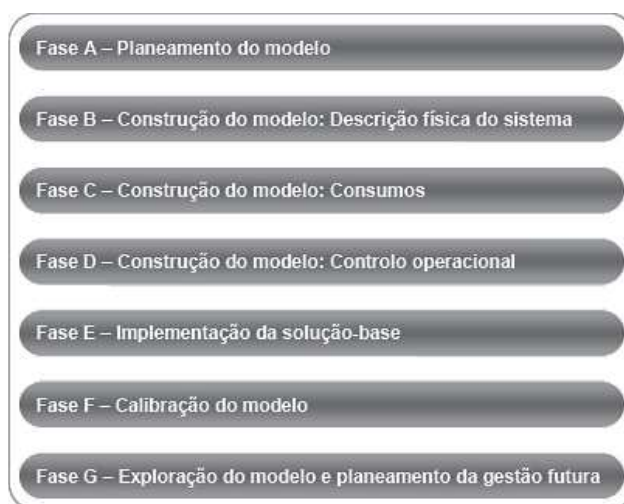


Figura 2: Faseamento para o desenvolvimento do modelo. (Coelho et al., 2006)

De uma forma geral a metodologia utilizada neste estudo seguiu as linhas orientadoras definidas, que se encontram descritas de seguida. Esta esteve sempre sujeita a alterações, tendo em conta a experiência obtida ao longo do trabalho e os caminhos que se pretendiam seguir.

- Fase A – Planeamento do modelo:
 - Definição do sistema a estudar, âmbito e objetivos do modelo;
 - Levantamento preliminar de dados de cadastro;
 - Definição da estrutura dos dados a modelar;
 - Definição de opções/configurações da modelação.
- Fase B – Construção do modelo (Descrição física do sistema):
 - Recolha de elementos necessários para a descrição física do sistema (cadastro de redes, reservatórios, estações elevatórias e válvulas);
 - Geração de dados prioritários em falta;
 - Estruturação dos dados físicos para o carregamento do modelo.
- Fase C – Construção do modelo (Consumos):
 - Recolha e formatação de dados de caudal na rede;
 - Produção de padrões de consumo e tipificação de cenários;
 - Processamento de dados de consumo para carregamento no modelo.
- Fase D – Construção do modelo (Controlo operacional):
 - Levantamento das regras de operação do sistema, designadamente, níveis de reservatórios, regulação de bombas e válvulas;
 - Processamento da informação para carregamento no modelo.
- Fase E – Implementação da solução-base:
 - Estabelecimento de soluções-base, não calibradas, de modelação;
 - Eliminação de erros detetáveis e afinação de opções de modelação;
 - Exploração das capacidades de simulação e ganho de sensibilidade ao modelo.
- Fase F – Calibração do modelo:
 - Identificação das necessidades de calibração;
 - Calibração iterativa do modelo por comparação com valores verificados no sistema;
 - Verificação da conformidade dos resultados obtidos.
- Fase G – Exploração do modelo e planeamento da gestão futura:
 - Exploração das potencialidades do modelo;
 - Análise hidráulica e avaliação do desempenho do sistema;
 - Análise da qualidade da água;
 - Planeamento do desenvolvimento continuado do modelo.

2. Planeamento da construção do modelo

Como referido anteriormente, esta primeira fase consiste, essencialmente, numa aproximação e sensibilização com o sistema a estudar.

Para modelar o SRC, foi feita uma primeira versão da aplicação do EPANET às condições iniciais do sistema por Camacho e Sousa (2002). Após 20 anos de operação do SRC e a expansão do sistema, justifica-se a atualização do modelo EPANET para as condições atuais.

O modelo desenvolvido servirá como ferramenta de apoio à entidade que faz a gestão e operação do sistema. O objetivo para o uso e funcionamento do modelo será primordialmente a construção de cenários para diagnóstico do estado das infraestruturas do sistema, cenários futuros para análise de reabilitação, alterações de características operacionais e outras potenciais análises.

Nesta fase o foco principal foi a recolha de informação fundamental para o desenvolvimento do modelo e configuração de elementos. Esta foi recolhida através de diferentes plataformas e meios, nomeadamente, através do sistema de telegestão, relatórios de faturação, telas dos projetos de expansão do sistema, entre outros.

Foi possível perceber a falta de alguma informação relevante, à construção do modelo, designadamente, a extensão de algumas condutas de reforço e *bypass*, a localização de alguns componentes e a confirmação da configuração de certas válvulas redutoras de pressão (PRV). A informação foi gerada com o auxílio do *Google Earth*, uma ferramenta de cartografia digital e geoprocessamento, com o conhecimento de alguns colaboradores da empresa e ainda com amostragens em pontos de monitorização.

Foi possível, então, a recolha da seguinte informação:

- Informação geográfica (cotas topográficas, traçado e comprimento das condutas);
- Material e diâmetro das condutas;
- Dimensões dos reservatórios;
- Níveis de água em reservatórios;
- Características das diferentes válvulas;
- Solicitações (consumos);
- Caudais nas principais condutas;
- Pressões em pontos de entrega e pontos de monitorização;
- Curvas características dos sistemas de bombagem;
- Controlos operacionais de bombas e válvulas;

Antes de se iniciar a introdução de elementos e de dados para o modelo, foi necessária a configuração de algumas opções do *software*, nomeadamente as unidades das principais grandezas, fundamentais para o carregamento dos dados descritivos do modelo e para a expressão dos resultados. Estas são apresentadas na tabela seguinte (tabela 3).

Tabela 3: Principais grandezas consideradas na modelação. (Coelho et al., 2006)

Parâmetro	Unidades
Carga hidráulica	m
Perda de carga unitária	m/km
Diâmetro (condutas)	mm
Diâmetro (reservatórios)	m
Coefficiente de rugosidade (<i>Hazen-Williams</i>)	adimensional
Comprimento	m
Caudal	m ³ /h
Velocidade	m/s
Consumo	m ³ /h
Pressão (altura piezométrica) e carga	m
Volume	m ³
Tempo de percurso (idade)	h
Concentração	mg/l

Foi necessário definir uma nomenclatura relativa aos elementos físicos da rede de modo a ser possível a sua identificação. Apresenta-se na tabela 4 designação para os reservatórios de regularização de transporte, de bombagem e da ETA.

Tabela 4: Designação dos reservatórios intermédios do SRC.

Designação dos reservatórios intermédios
RPA
RBECO
REE1/ETA
REE2

Na tabela 5 são apresentadas as nomenclaturas que se estabeleceram para os diferentes reservatórios e os respetivos pontos de entrega ou consumo associados. A informação e as características relativas a nós e reservatórios, mais concretamente RNV, foram abordadas de forma aprofundada mais à frente.

A nomenclatura definida para os nós foi baseada na região/localidade em que se encontram. A nomenclatura dos reservatórios foi realizada de acordo com a designação previamente definida pela entidade gestora.

Tabela 5: Designação dos reservatórios e respetivos pontos de entrega/consumo do SRC.

SRC I		SRC II	
Designação dos pontos de consumo	Designação dos reservatórios	Designação dos pontos de consumo	Designação dos reservatórios
ILHAVO	R7	GAFANHAS	RGAFANHAS
S.JOÃOLOURE	R3	Designação dos pontos de entrega	
TORREIRA	R15	OVAR	R0AGUEDA
ALB.VELHA	R2	Z.ALTA	RECARDAES
MURTOSA	R12	FERMENTELOS	LAVANDEIRA
CANELAS	R8	ZI.OIA	ERVEDAL
BEDUIDO	R10	SILVEIRO	A.FERREIROS
AVANCA	R11	PALHAÇA	ZI.ESTARREJA
ESTARREJA	R9	BUSTOS	R16.ALB
ANGEJA	R5	MAMARROSA	R16.AGUEDA
MACINHATA	R1	STO.ANTONIO	NO.AVEIRO
MOUQUIM	R16	OIA.ELE	-
ALBER.NOVA	R4	R1CORTAL	-
S.JACINTO	R17	R4VALEGRANDE	-

3. Construção do modelo – descrição física do sistema

O modelo pretende representar hidraulicamente o sistema de adução multimunicipal do Carvoeiro para um período alargado de sete dias (168 horas).

A modelação de um sistema adutor de água apresenta diferenças dos sistemas de distribuição em baixa. Uma das principais diferenças na representação entre os modelos para estes dois sistemas consiste no maior grau de detalhe necessário nos sistemas em alta, no que se refere às regras

operacionais, às topologias e configurações de bombeamentos e reservatórios. Foi, portanto, necessário dar a devida atenção e relevo ao controlo operacional do sistema. (Coelho et al., 2006)

3.1. Nós

A introdução de nós no modelo foi realizada tendo em conta as características do sistema adutor. Estes representam as extremidades das condutas, a existência de derivações e válvulas, pontos de entrega/consumo e reservatórios. Os últimos são, no entanto, considerados nós especiais.

Foram no total introduzidos 210 nós, que se dividem em 160 nós simples, 37 nós com consumo e ainda 31 nós especiais (reservatórios).

A caracterização de nós simples no modelo foi realizada com a introdução da sua cota acima do nível médio das águas do mar.

Apresenta-se na tabela 6, os dados relativos às cotas de alguns pontos notáveis ao longo do sistema em estudo, permitindo de forma geral analisar as características orográficas da região.

Tabela 6: Cotas topográficas de alguns nós – pontos notáveis.

Pontos notáveis do sistema adutor	Cota topográfica (m)
Captação de água subterrânea	8,65
Captação de água superficial	15
ETA (saída)	26,8
RPA	163,75
RBeco	120
Cota topográfica máxima	256
Cota topográfica mínima	4

No que toca aos nós com consumo foi introduzida, de igual modo, a sua cota. Foi necessária também a introdução de valores de consumo-base nos pontos associados aos reservatórios ou pontos de entrega nas condutas. O ponto de consumo definiu-se como o ponto da rede de distribuição abastecida pelo reservatório é, por isso, no modelo, representado como um nó simples a jusante dos RNV. O ponto de entrega representa-se como RNV ou como nós simples, no caso de ser um ponto de entrega isolado ou de o reservatório não ser gerida pela Águas do Vouga. Associado ao consumo foi ainda especificado o padrão temporal de forma a simular a sua variação temporal, explicados no capítulo da operacionalização do modelo.

Quanto aos nós especiais, os RNV representam os reservatórios de água que alimentam reservatórios elevados ou condutas de distribuição do SRC, enquanto os RNF representam as captações, ou seja, a origem de água no sistema. Esta temática irá ser abordada de nos tópicos seguintes

3.2. Condutas

As condutas foram divididas por troços, sendo assim possível representar a evolução destas ao longo do terreno. Considerou-se um troço de conduta sempre que existem derivações, condutas de reforço (quando esta não acompanha a conduta principal no seu todo), mudança do material da conduta e válvulas.

A extensão das condutas foi fornecida pela entidade, exceptuando de algumas em que havia essa informação em falta. Como já dito anteriormente, esta informação em falta foi gerada com recurso ao *Google Earth* aliado à experiência e conhecimento dos operadores.

A opção de estado (aberto, fechado, ou contendo uma válvula de retenção) foi definida como aberto para a generalidade das condutas, recorrendo-se a válvulas de retenção (CV) onde se percebeu que poderia haver escoamento no sentido inverso ao desejado.

O cálculo da perda de carga contínua foi efetuado através da fórmula de *Hazen-Williams*:

$$\Delta H = 10,674 \cdot C^{-1,852} \cdot D^{-4,871} \cdot L$$

Em que,

- ΔH – Perda de carga localizada (m)
- C – Coeficiente de rugosidade da fórmula *Hazen-Williams* (adimensional);
- D – Diâmetro da conduta (m).

Esta fórmula produz melhores resultados para caudais elevados, pelo que em períodos de menor consumo pode apresentar algumas limitações.

O coeficiente de rugosidade é uma propriedade dependente do material, diâmetro e idade das condutas. Na tabela 7 é apresentado o valor inicial atribuído para o coeficiente de rugosidade para os diferentes materiais das condutas.

Os valores para coeficiente de rugosidade encontram-se tabelados, diferindo os seus valores de acordo com a fonte, devido à consideração de factores como: a variabilidade do material consoante o fabricante, consideração ou não da influencia das juntas, e contabilização ou não do

envelhecimento das condutas. No presente estudo foi considerado um coeficiente de rugosidade, tendo em conta o material da conduta, estando este parâmetro sujeito a ajustes durante o procedimento de calibração. São apresentados na tabela seguinte os coeficientes de rugosidade propostos por Marques & Sousa (2006) para os diferentes materiais de condutas para a fórmula de perda de carga *Hazen-Williams*.

Tabela 7: Material das condutas e respetivo coeficiente de rugosidade. (Marques & Sousa, 2006)

Material	Rugosidade
PVC	150
PEAD	130
FF	120
Fibra de vidro	150

Existem também perdas de carga localizadas em singularidades do sistema, como, estrangulamentos e curvas. Estas foram aplicadas ao modelo nos pontos onde foi possível verificar a sua existência. Foi efetuada esta análise recorrendo ao conhecimento dos colaboradores da empresa.

Para simular o sistema adutor foram introduzidos no modelo 200 troços de tubagem que representam 113 condutas adutoras de transporte de água ao longo de 248 kms de extensão com diâmetros que variam desde os 80 até aos 700 milímetros. Os diâmetros internos foram conhecidos através do catálogo dos fabricantes das tubagens.

A totalidade das condutas construídas no SRCI e no SRCII e introduzidas no modelo encontram-se tabeladas nos anexo I e II, respetivamente.

3.3. Reservatórios de Nível Fixo (RNF)

Como referido no primeiro capítulo, a captação de água do SRC está dividida entre subterrânea e superficial. No que diz respeito à captação subterrânea, esta é composta por dois poços e dez furos construídos no aluvião do Rio Vouga (figura 3). Já a captação superficial encontra-se no leito do rio, a montante dos poços e furos e tem associado uma estação elevatória independente para a ETA. (Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga, 2017)



Figura 3: Captação de água do SRC. (*Águas do Vouga*)

Para as propriedades dos RNF foi considerada a cota da superfície de livre a que se encontram, tanto os furos da captação subterrânea, como os equipamentos da captação superficial. A cota considerada para as captações subterrâneas foi de 8,65 metros e para a captação superficial foi de 15 metros.

Foram inseridos no modelo no total 11 RNF, em que 10 representam as captações subterrâneas e o último representa a captação superficial, como apresentado na figura 4.

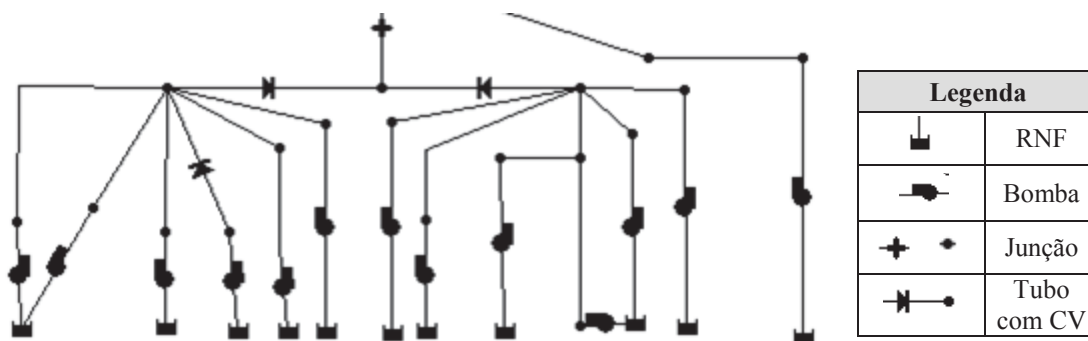


Figura 4: Representação das captações do SRC no modelo.

Para uma versão simplificada do modelo, o conjunto de captações foi representado por um RNF onde a cota de superfície livre foi fixada em 29 metros de modo a garantir a alimentação gravítica do reservatório da estação elevatória EE1 (REE1).

3.4. Reservatórios de Nível Variável (RNV)

O sistema em análise é composto por 20 reservatórios de nível variável. Nas propriedades destes elementos foram introduzidos as seguintes características:

- Cota da soleira;
- Altura de água inicial;
- Altura de água mínima;
- Altura de água máxima;
- Diâmetro.

A informação necessária foi proveniente dos projetos existentes, telas finais de execução das infraestruturas e relatórios de desinfecção.

A altura de água, a altura de água mínima e altura de água máxima foram definidas com base na informação do sistema de telegestão e descrito nas telas finais de execução destas infraestruturas. A altura inicial de água, foi definida tendo em conta a altura medida em cada um dos reservatórios para o dia e hora de início da simulação.

O nível de água é regulado por válvulas, nomeadamente, altimétricas, flutuadores, válvula de manobras acionadas por servomotores e válvulas de seccionamento, representadas no modelo. Esta regulação no modelo é feita por intermédio de controlos definidos também no programa.

Para efeitos de simulação todos os reservatórios foram representados como reservatórios circulares constituídos apenas por uma única célula, tendo sido considerado um diâmetro equivalente, que corresponde ao volume total das células. O volume total de cada reservatório foi calculado tendo em conta as medidas reais.

O diâmetro dos reservatórios foi calculado tendo em consideração o volume de água armazenado,

$$V = h \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Em que,

- V – Volume (m^3);
- h - Altura do reservatório (m)
- D – Diâmetro (m)

Na tabela seguinte (tabela 8) são apresentadas as capacidades de volume dos reservatórios, bem como o valor de diâmetro introduzido no modelo.

O diâmetro equivalente foi calculado em função das dimensões verificadas nas telas de projeto dos reservatórios.

Tabela 8: Características dos reservatórios a modelar.

Designação do reservatório	Nº de células	Volume teórico das células (m ³)	Altura máxima de água (m)	Diâmetro equivalente (m)
R1	2	200	4,00	11,72
R2	3	600	4,05	23,51
R3	2	600	3,50	19,2
R4	2	600	4,00	19,01
R5	2	200	4,00	11,72
R6	2	3526	4,07	47,38
R7	2	1125	4,00	24,85
R8	2	200	3,95	13,01
R9	2	500	3,50	24,91
	1	750	4,00	
R10	1	1000	4,00	19,33
	1	200	4,00	
R11	2	200	3,95	12,73
R12	2	1250	3,30	27,36
R15	1	900	4,00	16,89
R16	1	200	3,70	11,81
	1	200	4,55	
R17	2	250	4,10	12,6
RGafanhas	2	1000	4,50	25,31
RBeco	2	100	4,80	9,33
ETA/REE1	1	2000	3,50	25,81
RPA	2	3750	4,50	47,63
REE2	2	58,5	3,50	5,86

A ETA do Carvoeiro é representada como o reservatório de água tratada, tendo associada a esta os sistemas de bombagem do Beco, EE1 e RPA-R16.

Como já foi referido o abastecimento de água à região está dividida entre a entidade gestora do sistema em alta, a Águas do Vouga, S.A. e a entidade gestora do sistema em baixa, a AdRA. Os reservatórios de distribuição da região são geridos isoladamente por cada uma das entidades e consequentemente, só foi possível ter acesso a informação e modelar os reservatórios geridos pela Águas do Vouga, S.A..

3.5. Válvulas

De seguida procedeu-se à adição de objetos do modelo que representam válvulas. A grande maioria encontra-se associada aos reservatórios e outras associadas ao sistema. Estas foram configuradas no programa tendo em conta as seguintes características:

- Tipo de válvula (caracterizados anteriormente);
- Diâmetro;
- Parâmetro de controlo da válvula.

Ao longo do SRC existem várias redutoras de pressão com o objetivo de limitar a pressão a jusante desta, limitando de igual forma o caudal na saída da válvula. Estas foram adicionadas ao EPANET tendo em conta a sua disposição no sistema adutor.

À entrada do R6 verificou-se a existência de uma turbina hídrica que reduz a pressão para gerar energia elétrica, denominada pela entidade e no modelo por TERESA (figura 5). De forma a representar o efeito da turbina foi introduzida uma válvula reguladora de caudal (FCV). Desta forma o caudal de entrada no reservatório é mantido constante como acontece na realidade. Para a regulação do caudal na válvula foi considerado o caudal médio para este local no mês de novembro.



Figura 5: Turbina hídrica (TERESA) à entrada do R6.

Todos dos reservatórios são regulados por nível, isto é, a entrada de água é realizada, ou não, dependendo do nível do reservatório, com a abertura ou fecho da válvula de entrada. Nestas válvulas inserem-se as válvulas altimétricas, flutuadores e válvulas de manobras acionadas por servomotor. As últimas foram simuladas com a introdução de parâmetros operacionais do modelo, sendo que são as condutas que permitem a modelação de estas válvulas.

As válvulas altimétricas verificam-se nos reservatórios: R2, R10, R12, R17 e RGAFANHAS. Estas regulam o caudal de entrada do reservatório consoante o caudal de saída, mantendo, assim o seu nível.

É proposto por Coelho *et. al* (2006) um artifício para a modelação válvulas altimétricas, que consiste numa sequencia de válvulas: TCV, FCV, PSV, CV. No entanto, devido às dificuldades encontradas na modelação correta do comportamento destas válvulas, tomou-se um caminho alternativo. Foram adicionadas, à entrada dos reservatórios acima referidos, PRV's (figura 6) configuradas para limitarem a pressão a jusante para o nível de água no reservatório correspondente, como por exemplo, para um reservatório em que se pretende que o nível de água seja mantido a 3 metros, a PRV foi configurada para limitar a pressão para 3 metros coluna de água (m.c.a.), havendo então a regulação do caudal aduzido consoante o caudal de saída.

Foram associadas válvulas de controlo da pressão (PSV) aos reservatórios, por forma a representar a entrada de caudal acima da superfície livre. Esta válvula mantém o valor da pressão de entrada nesse ponto, se as condições assim o permitirem. Foi regulada com o valor da altura da entrada de água no reservatório. Na figura 6 apresenta-se a representação das válvulas de entrada nos reservatórios introduzidas no modelo.

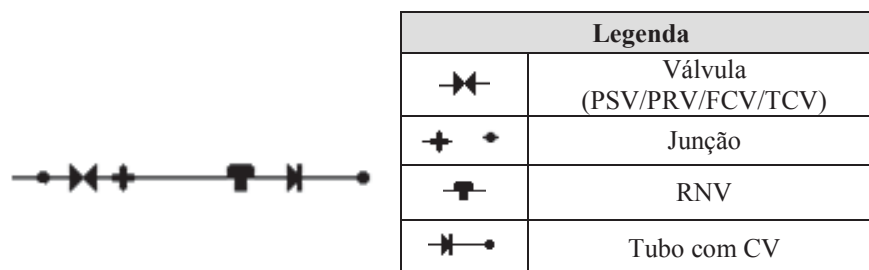


Figura 6: Representação de uma válvula PSV/PRV a montante de um RNV.

3.6. Estações elevatórias

O sistema adutor é composto por várias estações elevatórias. Três encontram-se localizadas na ETA do Carvoeiro, designadamente, a estação do Beco, a EE1 e ainda a RPA-R16. A primeira eleva a água até ao reservatório de regularização/passagem do Beco (RBECO) e a segunda até o outro reservatório de bombagem da estação EE2 (REE2). A partir deste reservatório, a água é elevada até ao RPA, através da estação elevatória EE2. As restantes estações elevatórias destinam-se a elevar a água até aos reservatórios de distribuição das localidades de À-dos-Ferreiros (estação À-dos-Ferreiros), Albergaria-a-Nova (estação RPA-R4) e até Mouquim (estação RPA-R16).

As estações elevatórias e a identificação das respetivas bombas encontram-se apresentadas na tabela seguinte (tabela 9).

Tabela 9: Estações elevatórias do sistema.

Designação da estação elevatória	Designação da bomba
EE1	BOMBA1
	BOMBA10
	23
EE2	BOMBA2
	BOMBA11
	24
EE Beco	Beco1
	Beco2
	Beco3
EE RPA-R4	BOMBA7
EE À-dos-Ferreiros	FERREIROS
EE ETA-R16	BOMBA4
EE ETA-R1 (desativado)	BOMBA3

Salienta-se que o sistema elevatório que eleva a água da ETA até ao R1 se encontra atualmente desativado, sendo a água transportada até ao reservatório graviticamente a partir do RBeco.

As captações possuem também estações elevatórias associadas, no entanto, para o desenvolvimento do modelo estas não foram consideradas. Como já mencionado, optou-se pela simplificação desta vertente do modelo.

3.6.1. Bombas

Para caracterização das bombas foi necessária a introdução dos seguintes dados no modelo:

- Cota de aspiração;
- Tipo de bomba (velocidade fixa ou variável);
- Identificação da curva característica da bomba;
- Regulação de velocidade;

A curva característica da bomba é o parâmetro fundamental a especificar, sendo uma relação de valores de caudal e de valores de altura de elevação, usualmente fornecidos pelos fabricantes das

bombas. A curva característica configurada para cada bomba foi baseada nas curvas de rendimento ótimo disponibilizadas pelos fabricantes. No entanto, houve a necessidade de se realizarem alguns ajustes nas variáveis da curva (calibração), de modo a que fosse possível uma boa simulação da pressão e do caudal à saída da bomba.

De notar que nas infraestruturas das estações elevatórias, se verifica a existência de um grupo eletrobomba adicional que funciona em caso de reserva, não sendo este representado no modelo.

Capítulo IV – Operacionalização do modelo

1. Consumos

Como já referido, foram associados valores de consumo-base aos nós que correspondem a pontos de entrega ou consumo.

As informações relativas aos consumos base foram obtidas através do relatório anual de consumos mensais disponibilizado pela Águas do Vouga. Foi considerado o caudal médio horário para o ano de 2017 nos diferentes locais. Na tabela seguinte (tabela 10) encontram-se especificados os consumos-base associados a cada ponto de entrega do sistema.

Tabela 10: Consumos-base associados aos respetivos pontos de entrega/consumo.

Designação do ponto de entrega/consumo	Consumo-base (m ³ /h)	Designação do ponto de entrega/consumo	Consumo-base (m ³ /h)
AVEIRO	396,8	BUSTOS	6,590
ILHAVO	95,18	MAMARROSA	7,810
S.JOÃO LOURE	38,32	STO.ANTONIO	25,86
TORREIRA	33,01	OIA,ELE	39,49
ALB.VELHA	56,25	R1CORTAL	94,47
MURTOSA	59,99	R4VALEGRANDE	50,01
CANELAS	11,05	R0AGUEDA	49,11
BEDUIDO	55,02	RECARDAES	30,04
AVANCA	11,50	LAVANDEIRA	8,270
ESTARREJA	52,03	ERVEDAL	28,61
ANGEJA	4,520	GAFANHAS	101,9
MACINHATA	33,46	A.FERREIROS	1,280
ALBER.NOVA	38,95	ZI.ESTARREJA	95,86
S.JACINTO	7,630	R16.ALB	3,050
OVAR	46,16	R16.AGUEDA	3,210
Z.ALTA	41,82	NO.AVEIRO	76,00
FERMENTELOS	20,87	SILVEIRO	12,19
ZIOIA	3,890	PALHAÇA	14,85

2. Tratamento de séries temporais de caudal e determinação de padrões de consumo

Com o objetivo de se realizar uma simulação em período alargado foi necessária a introdução, no modelo, de padrões temporais de consumo e a sua associação aos respetivos pontos de entrega/consumo. Estes padrões correspondem à sequência de fatores multiplicativos do consumo, para cada passo temporal da simulação hidráulica (Coelho et al., 2006). Desta forma, foi efetuada uma análise aos dados de caudal do sistema, acedidos através do sistema de telegestão, para cada um dos locais em que existe a entrega de caudal.

Devido ao facto da informação recolhida apresentar uma organização não diretamente utilizável, houve a necessidade de a processar e tratar de modo a obter séries temporais normalizadas num formato compatível com o programa. Com este fim recorreu-se a um *software* de análise de dados, o *Surfer8*, em que foi possível interpolar os dados de caudal para um intervalo regular no tempo, neste caso para o passo temporal escolhido na construção do padrão. Utilizou-se o método de interpolação linear com triangulação, “*triangular with linear interpolation*”, sendo que o passo selecionado para a base temporal das séries foi de doze minutos. A escolha deste passo em detrimento do passo temporal mais comum de sessenta minutos deveu-se ao facto de ser possível a simulação do funcionamento do sistema com as particularidades que caracterizam a distribuição ao longo do dia com mais precisão, como é perçível pela análise da figura seguinte (figura 7).

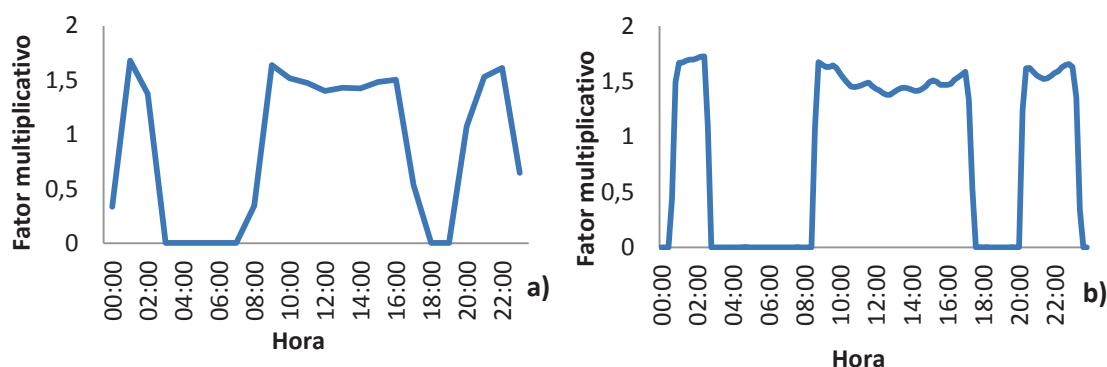


Figura 7: Padrões temporais com passo de a) sessenta minutos e b) doze minutos

Esta figura representa o caudal de saída ao longo de um dia para o reservatório de Ílhavo, o R7. Em termos absolutos o volume de água representado é igual com a utilização de ambos os passos temporais, porém é possível verificar que com um passo mais curto a representação do comportamento é feita de forma mais exata, garantindo uma boa reprodução das aberturas e fechos da válvula de entrada do reservatório.

Como referido anteriormente, a construção destes padrões foi realizada tendo por base os dados de caudal obtidos através do sistema de telegestão. Foram utilizados e tratados os dados referentes às semanas de 13 a 19 de agosto de 2017 e 19 a 25 de novembro do mesmo ano. Estas duas semanas foram escolhidas com o intuito de ser possível a análise do comportamento do sistema para a época alta e para época baixa.

De referir que não foi possível recolher dados de caudal em todos os pontos de entrega devido a avarias de alguns caudalímetros ou por não haver equipamentos de monitorização no local. Nestes casos foi associado um padrão de consumo temporal generalizado. Na figura seguinte (figura 8) é apresentado um exemplo de um padrão de consumo para um ponto de entrega.

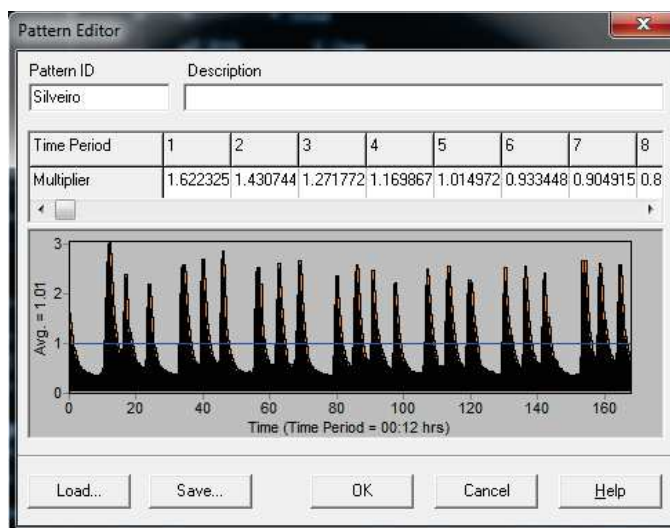


Figura 8: Exemplo de um padrão de consumo temporal (ponto de entrega em Silveiro).

3. Controlo Operacional

Os controlos operacionais são compreendidos como o conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede é operada ao longo do tempo em função de determinadas condições. Estes aplicam-se ao estado das condutas, bombas ou válvulas, que poderão ser acionados em função de condições como: o tempo, a altura de água num reservatório e a variação de caudal ou pressão em determinados pontos da rede.

Para uma simulação eficaz do sistema em estudo foi necessário ter em consideração todo o funcionamento operacional. Estes controlos vão desde o simples reflexo de acionamento de um automatismo, como por exemplo, o funcionamento de uma válvula de flutuador na entrada de um

reservatório, ao funcionamento de válvulas altimétricas e de seccionamento e ao controlo do funcionamento das bombas.

O programa permite a utilização de dois tipos de controlo: simples e com condições múltiplas (“Rule-based”). O primeiro altera o estado das propriedades de um troço com base na altura de água de um reservatório, na pressão de um nó, no instante de simulação e no instante do dia. Já o segundo tipo de controlo permite que o estado e as propriedades dos troços dependam da combinação de um conjunto de condições que podem ocorrer na rede, após o cálculo das condições hidráulicas iniciais.

A aplicação de controlos simples foi utilizada para alterar o estado de um elemento, nomeadamente condutas e válvulas, com base na altura de água num RNV. Na tabela 11 são apresentados os controlos simples utilizados na operacionalização do modelo.

Tabela 11: Controlos simples utilizados no modelo.

Válvulas/Bombas	Controlos simples
Entrada do R1	<i>LINK TR1 OPEN IF NODE R1 BELOW 2.6 LINK TR1 CLOSED IF NODE R1 ABOVE 3.5</i>
Entrada do R3	<i>LINK TR3 OPEN IF NODE R3 BELOW 2 LINK TR3 CLOSED IF NODE R3 ABOVE 2.65</i>
Entrada do R4	<i>LINK 123 OPEN IF NODE R4 BELOW 2.4 LINK 123 CLOSED IF NODE R4 ABOVE 3.7</i>
Entrada do R5	<i>LINK TR5 OPEN IF NODE R5 BELOW 2 LINK TR5 CLOSED IF NODE R5 ABOVE 2.7</i>
Entrada do R7	<i>LINK TR7 OPEN IF NODE R7 BELOW 2.7 LINK TR7 CLOSED IF NODE R7 ABOVE 2.9</i>
Entrada do R8	<i>LINK TR8 OPEN IF NODE R8 BELOW 2.3 LINK TR8 CLOSED IF NODE R8 ABOVE 2.7</i>
Entrada do R9	<i>LINK TR9 OPEN IF NODE R9 BELOW 2.45 LINK TR9 CLOSED IF NODE R9 ABOVE 3</i>
Entrada do R11	<i>LINK TR11 OPEN IF NODE R11 BELOW 2.4 LINK TR11 CLOSED IF NODE R11 ABOVE 2.75</i>
Entrada do R15	<i>LINK TR15i OPEN IF NODE R15 BELOW 2.8 LINK TR15i CLOSED IF NODE R15 ABOVE 3.5</i>
EE Beco	<i>LINK Beco1 OPEN AT CLOCKTIME 0</i>
EE2	<i>LINK 24 OPEN AT CLOCKTIME 0</i>
EE1	<i>LINK 23 OPEN AT CLOCKTIME 0</i>

A aplicação de controlos com condições múltiplas foi utilizada maioritariamente para regular o funcionamento de bombas em função do nível de água dos reservatórios e do tempo, e também para regular algumas válvulas. Os controlos “*Rule-based*” utilizados no desenvolvimento do modelo encontram-se apresentados nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Controlos “*Rule-based*” utilizados no modelo.

Estação Elevatória	Controlos “<i>Rule-based</i>”
EE Beco	<p><i>if tank RBECO level below 4.4 and system clocktime > 0 then pump Beco1 status is open</i></p> <p><i>if tank RBECO level below 4.25 and tank RBECO level above 4.15 then pump Beco2 status is open</i></p> <p><i>if tank RBECO level below 4.15 then pump Beco3 status is open</i></p>
EE2	<p><i>if tank RPA level above 3.85 then pump BOMBA2 status is closed and pump BOMBA11 status is closed and pump 24 status is closed</i></p> <p><i>if tank RPA level below 3.85 and tank RPA level above 3.7 then pump 24 status is open and pump BOMBA2 status is closed and pump BOMBA11 status is closed</i></p> <p><i>if tank RPA level below 3.7 and tank RPA level above 3.6 then pump BOMBA2 status is open and pump 24 status is open and pump BOMBA11 status is closed</i></p> <p><i>if tank RPA level below 3.6 then pump BOMBA11 status is open and pump BOMBA2 status is open and pump 24 status is open</i></p>

Tabela 13: Controlos “Rule-based” utilizados no modelo (continuação).

Estação Elevatória	Controlos “Rule-based”
EE1	<p><i>if tank RPA level above 3.85 then pump BOMBA1 status is closed and pump BOMBA10 status is closed and pump 23 status is closed</i></p> <p><i>if tank RPA level below 3.85 and tank RPA level above 3.7 then pump 23 status is open and pump BOMBA1 status is closed and pump BOMBA10 status is closed</i></p> <p><i>if tank RPA level below 3.7 and tank RPA level above 3.6 then pump BOMBA1 status is open and pump 23 status is open and pump BOMBA10 status is closed</i></p> <p><i>if tank RPA level below 3.6 then pump BOMBA10 status is open and pump BOMBA1 status is open and pump 23 status is open</i></p>
EE RPA-R4	<p><i>if system clocktime > 0 and system clocktime <= 5 then pump BOMBA7 status is open and pump BOMBA7.2 status is closed</i></p> <p><i>if system clocktime > 5 and system clocktime <= 15 then pump BOMBA7 status is closed and pump BOMBA7.2 status is open</i></p> <p><i>if system clocktime > 15 and system clocktime <= 24 then pump BOMBA7 status is open and pump BOMBA7.2 status is closed</i></p>
EE ETA-R16	<p><i>if tank R16 level below 2.75 then pump BOMBA4 status is open</i></p> <p><i>if tank R16 level above 3 then pump BOMBA4 status is closed</i></p>

4. Qualidade da água

No presente estudo a única funcionalidade de análise à qualidade da água utilizada foi a idade da água. Este indicador traduz o tempo médio que uma parcela de água demora a chegar a um determinado ponto da rede a partir do ponto de entrada da água. Fornece uma forma simples e não específica de avaliar a qualidade da água distribuída.

Para o cálculo desta variável, o EPANET, trata a idade da água como um constituinte reativo, seguindo uma lei cinética de crescimento de ordem zero, com uma taxa constante igual a um. (Rossman, 2000)

5. Implementação da solução base e correção de erros de estrutura do modelo

Estudadas e consideradas as características e condicionantes de cada um dos elementos do sistema foi possível concluir a construção do modelo. O esquema hidráulico do sistema obtido no programa de modelação é apresentado na figura 9. Optou-se por usar uma representação em esquema, de modo a facilitar a sua leitura embora o EPANET permita importar um mapa de base. De referir que esta solução base não se encontra calibrada. Este tema irá ser abordado no próximo capítulo do presente relatório.

Nesta fase foi possível a identificação e eliminação de alguns erros verificados no modelo e ainda se realizaram algumas afinações nas opções de modelação.

A informação usada no modelo foi compilada e registada em diversas plataformas, tais como, folhas de cálculo e documentos escritos.

Ainda assim o modelo, mesmo não calibrado, reúne um conjunto diversificado de informação compilada com o propósito de entender o sistema, e que dificilmente seria compilada noutro contexto. O primeiro ganho é justamente a motivação para tal compilação, cuja utilidade não deve ser desprezada. (Coelho et al., 2006)

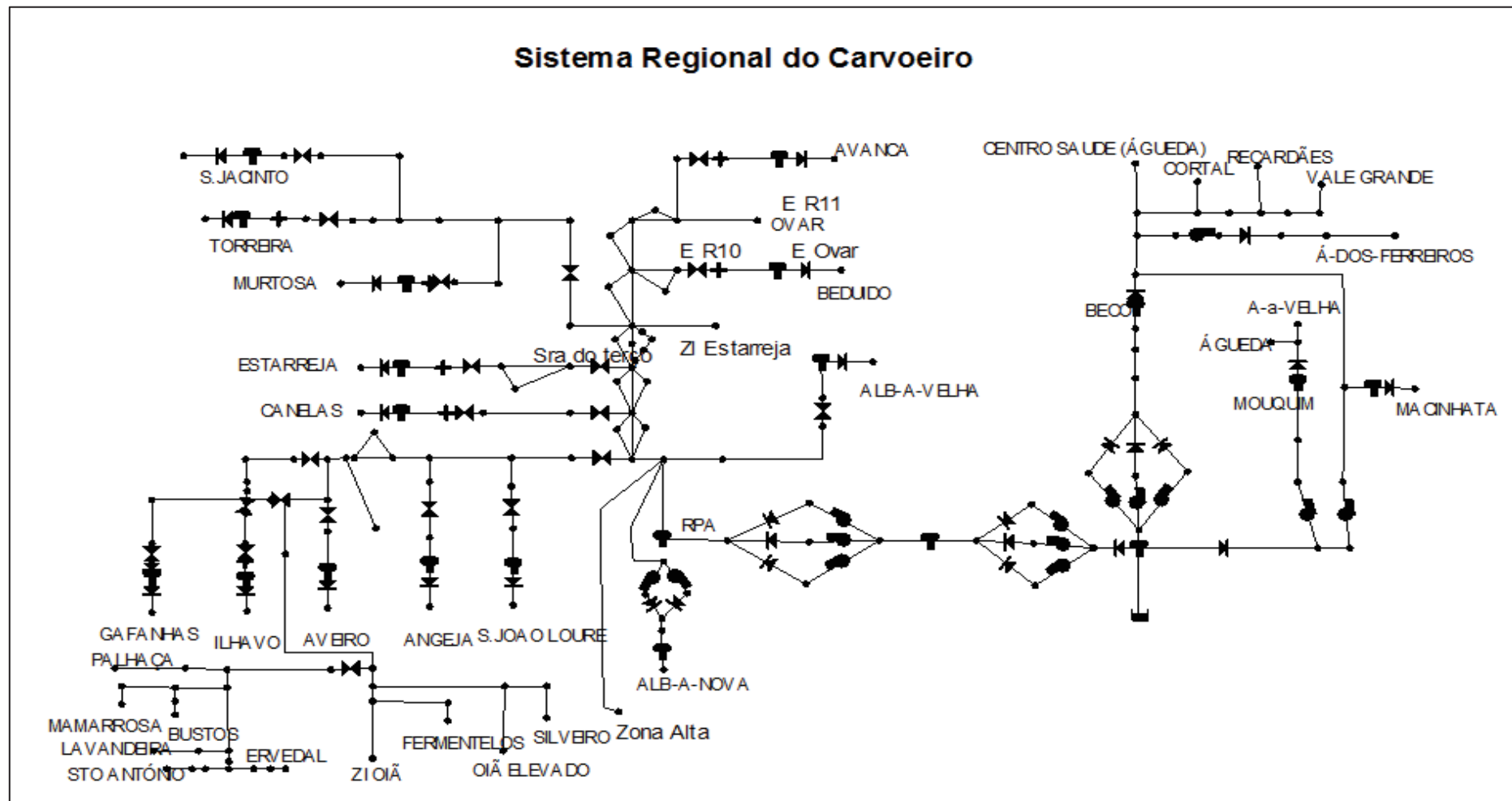


Figura 9: Esquema hidráulico do SRC no modelo EPANET.

6. Identificação e correção de erros de funcionamento do modelo

O relatório de estado processado pelo EPANET, após a execução da simulação, assinala mensagens de aviso e erro associadas aos elementos pelo respetivo código (ID) e localizadas no tempo pelo correspondente passo de cálculo hidráulico.

O primeiro erro identificado foi o de não ser possível alcançar o equilíbrio ou o número de iterações máximas ser atingido, como demonstrado no exemplo seguinte:

Warning: Maximum trials exceed at 6:04:00 hrs. System may be unstable.

Esta condição ocorre quando o programa não consegue convergir para uma solução hidráulica em determinado passo de cálculo com o número de iterações fixado. O valor configurado por defeito é 40, no entanto para a presente simulação, o valor foi aumentado para 300, permitindo assim maior possibilidade de atingir um resultado.

No que toca aos controlos operacionais, surgiram de igual modo dificuldades em convergir para a simulação hidráulica. Neste sentido foram simplificados todos os comandos associados às regras operacionais criadas, por forma a evitar incompatibilidades no sistema.

Verificaram-se, também, mensagens de erro devido a pressões negativas ao longo de várias simulações. Estas indicam que determinado nó na rede não está a receber caudal, uma vez que as condições do sistema não o permitem. Nestes casos foi apresentada uma mensagem adicional informando que a rede se encontrava desligada. De seguida, são apresentados alguns exemplos de mensagens associadas a este tipo de erros:

Warning: Negative pressures at 13:57:32 hrs.

Warning: Node TORREIRA disconnected at 13:57:32 hrs.

Warning: System disconnected because of Link TTORREIRA

Estas situações foram resolvidas com base no estudo do comportamento do sistema, detetando-se uma sensibilidade associada à entrada de água nos reservatórios, que requer cuidados especiais no que se refere à configuração das válvulas – altimétricas, flutuadores, ou de manobras – que controlam o nível de água nos reservatórios com a limitação dos caudais aduzidos.

A solução para estes problemas passou pela configuração de válvulas já referida no capítulo anterior. Assim, foi possível uma boa modelação do sistema, simulando a abertura e fecho da entrada de água nos reservatórios em função do nível, a regulação do caudal aduzido e o efeito de descarga de água acima da superfície livre no reservatório.

Também a existência de válvulas de retenção ao longo de vários troços, induz no modelo uma complexidade matemática no cálculo do equilíbrio hidráulico que pode impossibilitar a execução da simulação com sucesso. Deste modo, foi restringida a sua utilização apenas aos pontos críticos, nomeadamente nos troços imediatamente a jusante de bombas.

No entanto, existem situações em que o programa alerta para mensagens de que certa FCV não consegue debitar o caudal regulado. Este aviso não representa uma condição de erro na modelação, alertando apenas para o facto que na FCV estar a circular caudal inferior ao estipulado no “parâmetro de controlo”. Estes alertas demonstram-se no exemplo seguinte:

Warning: FCV 141 open but cannot deliver flow at 14:54:42 hrs.

Estas situações poderão ser frequentes e são perfeitamente aceitáveis, sempre que não haja solicitação no ponto de entrega e a bomba se encontre no estado aberto e sempre que circule na FCV um caudal inferior ao estipulado.

7. Procedimento de Calibração

Após elaborada a estrutura física e operacionalização do sistema foi possível começar o procedimento de calibração.

Walski *et al* (2003) define a calibração como o processo de comparação dos resultados de um modelo com observações de campo para, se necessário, ajustar os dados que descrevem o sistema até que o comportamento previsto pelo modelo concorde razoavelmente com o comportamento verificado na realidade, para uma gama alargada de condições operacionais.

A calibração de um modelo é realizada através de um processo iterativo, cujos passos principais são repetidos até determinadas condições de aceitabilidade serem verificadas. A calibração de um modelo deverá sempre ser executada em função dos objetivos a que se destina, e tomar em consideração, a qualidade dos dados utilizados para o construir. O conceito básico é simples: correr o modelo e comparar os resultados com medições em campo; se a diferença for superior à tolerância de erro pré-estabelecida, introduzir ajustamentos e voltar a correr o modelo. (Coelho et al., 2006)

No entanto, o processo de calibração não tem apenas como finalidade conseguir a aproximação do modelo à realidade. Permite, também, ao utilizador adquirir e/ou aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento do sistema. Proporciona um avanço significativo no entendimento sobre o comportamento e desempenho do sistema designadamente sobre a sensibilidade à variação dos parâmetros de calibração. Este processo de análise da sensibilidade permite a identificação de

dados ou configurações que mais influenciam os resultados, possibilitando ao modelador concentrar-se preferencialmente no ajuste destes. (Coelho et al., 2006)

A exatidão de modelos, neste caso de sistemas em alta, depende maioritariamente da qualidade da descrição das configurações e condições de operação, nomeadamente, a altimetria e níveis máximos e mínimos de reservatórios, alturas, caudais de elevação e regulação de válvulas de operação. Assim percebe-se que a calibração deste tipo de modelos é sobretudo dependente de uma cuidadosa verificação das condições operacionais, sendo benéfico o envolvimento ativo de operadores do sistema no trabalho de desenvolvimento do modelo e comparação de resultados. (Coelho et al., 2006)

O procedimento de calibração para o modelo desenvolvido passou também pela realização de ajustes nos coeficientes de rugosidade das condutas. Desta forma foi possível ajustar o caudal e a pressão em alguns troços monitorizados pelo sistema de telegestão.

O grau de exatidão para este processo deve ser pré-estabelecido, dependente dos objetivos a atingir e do tipo de modelação a efetuar. No entanto, o grau de exatidão obtido poderá igualmente resultar do próprio processo de calibração e de algumas limitações, nomeadamente, de tempo ou recursos disponíveis. Por sua vez, é fundamental perceber que o grau de exatidão é uma característica própria de cada modelo, que consequentemente influencia diretamente a fiabilidade dos seus resultados. (Coelho et al., 2006)

No desenvolvimento do presente modelo optou-se pela realização da calibração para uma simulação de período alargada de sete dias, uma vez que grande parte dos cenários a realizar consistem em simulações dinâmicas. Este processo de calibração requer maior exigência e apresenta um maior grau de dificuldade que a calibração para uma simulação estática.

Walski *et al* (2003) sistematizam um conjunto abrangente de critérios quantitativos para a calibração, em função das utilizações previstas para os modelos. Estes devem ser tomados como guias, em função dos condicionalismos locais e dos objetivos pretendidos para a análise, e não como regra. Assim cabe ao modelador ter a sensibilidade e o bom senso em perceber as várias condicionantes e singularidades do sistema até poder afirmar que o modelo se encontra calibrado. Os critérios propostos por Walski *et al* (2003) que podem ser enquadrados no objetivo do presente estudo são os seguintes:

- Elaboração de Planos Diretores para sistemas de grande dimensão (com diâmetros superiores a 600 mm): O modelo deverá fornecer valores da cota piezométrica com uma tolerância inferior a ± 3.0 m durante os períodos de velocidades/caudais máximos, tomando em consideração a precisão das medições da cota do terreno e da pressão para consumos

médios. O modelo deverá reproduzir as flutuações de nível nos reservatórios com uma tolerância inferior a ± 2.0 m, em simulação de período alargado, e simular os caudais à saída de estações de tratamento, instalações elevatórias e captações, com uma tolerância inferior a $\pm 20\%$.

- Dimensionamento de condutas: O modelo deverá reproduzir as flutuações de nível nos reservatórios com uma tolerância inferior a ± 2.0 m.
- Análise da reabilitação de sistemas de distribuição: O modelo deverá fornecer valores da cota piezométrica, na área em estudo, com uma tolerância inferior a ± 3.0 m, para os testes de caudal de incêndio, tomando em consideração a precisão das medições da cota do terreno para consumos médios.

Assim tendo por base os critérios descritos em cima, foi possível definir, em conjunto com os responsáveis pela gestão e operação do sistema, as metas para a calibração do modelo. Esta foi realizada sobretudo tendo em conta a pressão nos pontos de entrega, o nível dos reservatórios e ainda os caudais à saída das estações elevatórias. Os objetivos pré-estabelecidos para a calibração do modelo são, então, apresentados a seguir:

- O modelo deve fornecer valores de pressão com uma tolerância inferior a $\pm 5,0$ m.c.a. em 80% dos valores medidos nos pontos de rede selecionados, nomeadamente, pontos de entrega à entrada dos reservatórios de distribuição e a jusante de algumas válvulas.
- O modelo deve reproduzir as flutuações de nível nos reservatórios com um erro associado de $\pm 20\%$;
- O modelo deve, por fim, conseguir simular os caudais à saída de instalações elevatórias e captações, com uma tolerância inferior a $\pm 20\%$.

O erro associado às flutuações de nível e aos caudais a calibrar foi calculado tendo por base a seguinte fórmula,

$$Erro (\%) = \frac{(Medido - Modelado)}{Medido} \times 100.$$

Quando atingidas as metas, o modelo pode, em princípio, considerar-se calibrado.

Capítulo V – Análise de dados e calibração do modelo

1. Análise ao volume total fornecido

No decorrer do estágio curricular teve-se contacto com diversa informação relacionada com o funcionamento do sistema. Foi possível ter acesso a dados que representam a operação global do SRC, como é o caso dos volumes diários medidos à saída da ETA. Neste sentido realizou-se uma breve análise às médias diárias fornecidas pela ETA ao sistema, em função do mês e do dia da semana, para o ano de 2017. Juntamente com o resultado é apresentado o intervalo de confiança da média calculada com base na variável *t* de *Student* para o nível de significância de 95%.

Na figura seguinte (figura 10) estão representados os volumes médios diários fornecidos ao sistema, para cada dia da semana do ano em estudo.

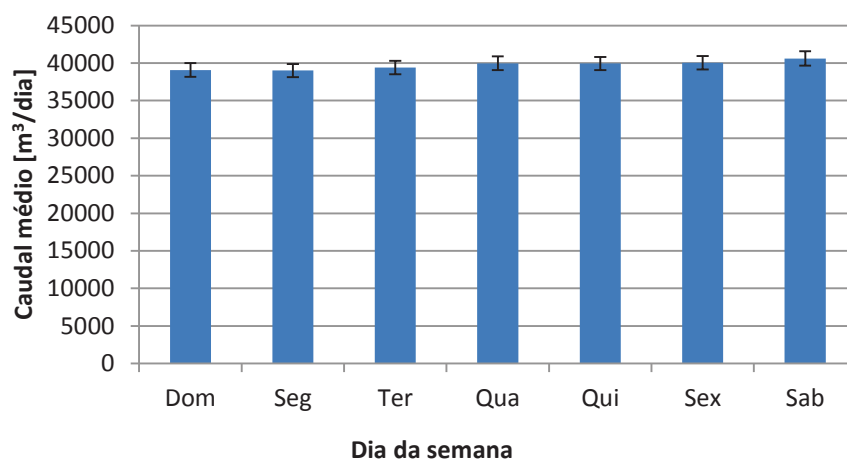


Figura 10: Caudal médio diário (m^3/dia) em função do dia da semana no ano de 2017.

É possível verificar que existe uma certa tendência para que sábado seja o dia em que existe maior consumo pelas populações, ainda que não seja uma diferença acentuada em comparação com os restantes dias da semana. Em média o consumo de água diário no sistema é de $40\,000\text{ m}^3$.

Relativamente à variação mensal do consumo diário, são apresentados na figura 11 os volumes diários verificados à saída da ETA em cada mês no ano de 2017.

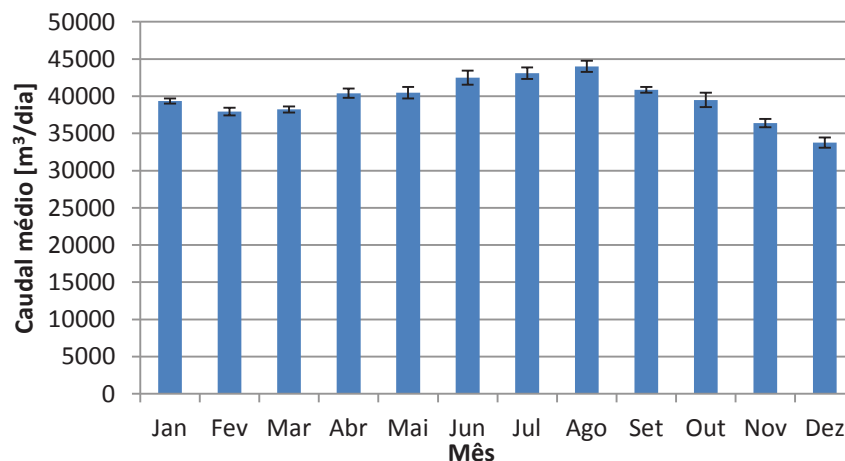


Figura 11: Caudal médio diário (m³/dia) em função do mês no ano de 2017.

É possível verificar uma tendência para o maior consumo de água durante a época de verão, sendo o mês de agosto onde se verifica o maior caudal médio diário. Esta tendência deve-se ao facto de durante esta altura, existir uma grande afluência de turistas a esta região por se tratar da época balnear.

2. Análise dos volumes fornecidos nos pontos de entrega

A transição do sistema de distribuição em alta para o sistema de distribuição em baixa acontece com a entrega de caudal de três formas distintas. Esta pode ocorrer em pontos de entrega à entrada dos reservatórios apoiados, em pontos de entrega à saída dos reservatórios – diretamente para a rede de distribuição a partir de torres de pressão ou transportada para outros reservatórios – e, por fim, em linha, ou seja, diretamente para a rede de distribuição sem a passagem por um reservatório de distribuição.

Desta forma foi possível ter acesso aos dados de caudal da generalidade dos pontos onde se realiza a transferência de água para o sistema pertencente à AdRA. Com esta informação foi possível a criação dos padrões temporais de consumo utilizados na construção do modelo e realizar uma breve análise destes, nos diferentes locais tendo em conta as suas características.

Os pontos analisados foram selecionados de modo a ser possível demonstrar a variedade de situações que existem no SRC.

2.1. Entrega de caudal à entrada dos reservatórios apoiados

Como referido anteriormente, o caudal entregue ao sistema em baixa pode ser realizado em pontos de entrega à entrada dos reservatórios apoiados, em diferentes locais. Esta situação verifica-se

essencialmente nos locais em que os reservatórios de distribuição são geridos pela AdRA. As características dos padrões nestes locais resultam do funcionamento das válvulas que estão associadas na entrada dos reservatórios.

Na figura 12 estão representados graficamente os padrões temporais de caudal para os pontos de entrega nos reservatórios de Vale Grande, de Palhaça e de Recardães, ao longo do tempo de simulação que corresponde a uma semana, de domingo a sábado.

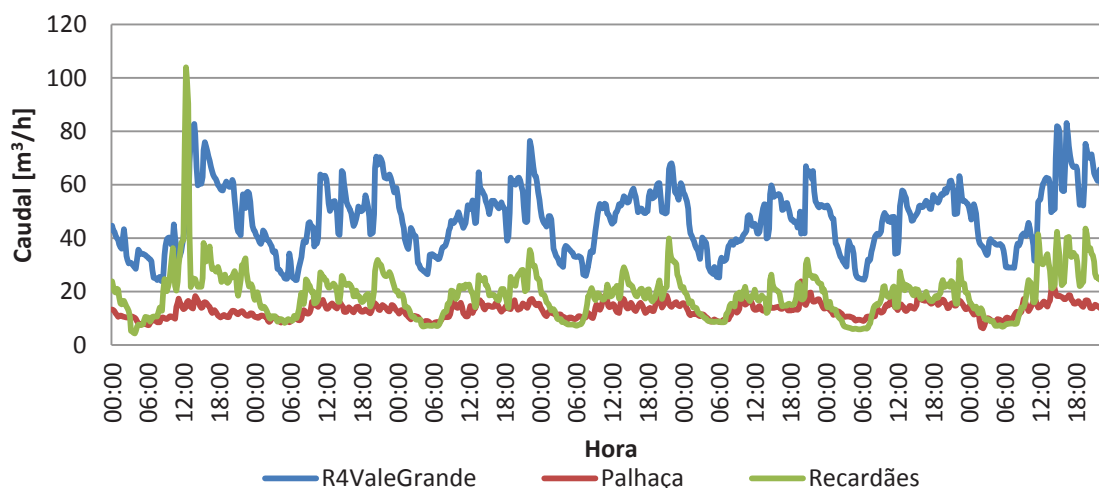


Figura 12: Padrões temporais de caudal (m³/h) nos pontos de entrega de R4 – Vale Grande, Palhaça e Recardães.

A entrada de água nos reservatórios abastecidos pelos pontos de entrega acima descritos é controlada pela existência de válvulas altimétricas. Estas válvulas encontram-se na maioria dos reservatórios operados pela AdRA e regulam o caudal que entra no reservatório em função da altura de água dentro deste. A válvula apresenta um coeficiente de abertura maior ou menor consoante o nível de água no reservatório. Percebe-se, então, que se verifique um caudal de entrada maior aquando dos períodos de maior consumo. Estes correspondem ao período diurno.

Na figura 13 é representado o padrão temporal para o ponto de entrega no reservatório de Ervedal. Na entrada deste encontra-se, também, montada uma válvula altimétrica para regulação de caudal. A diferença, neste caso, é a existência de uma torre de pressão para onde é bombeada a água presente no reservatório apoiado.

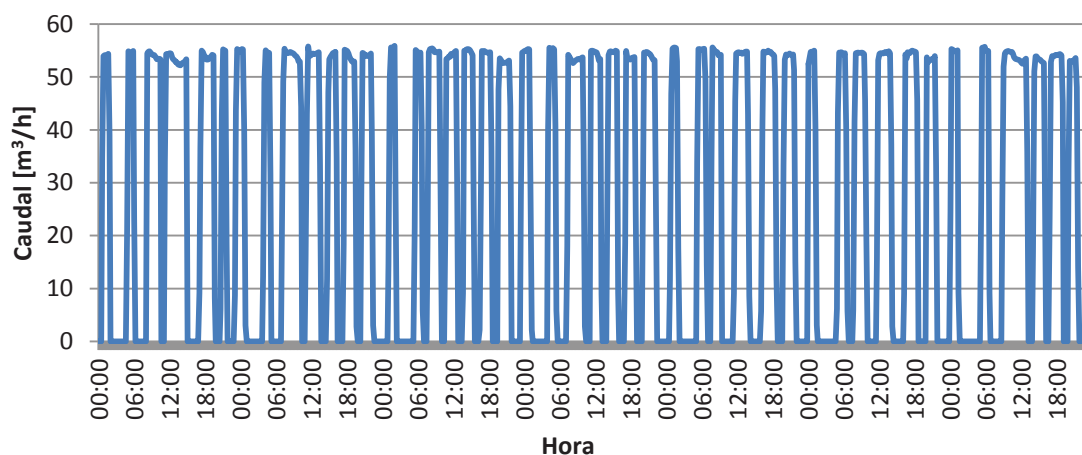


Figura 13: Padrão temporal de caudal (m^3/h) no ponto de entrega de Ervedal

É possível perceber que o comportamento de abertura e fecho da válvula se dá quando existe a bombagem de água para o reservatório elevado, podendo existir entre a bombagem e a abertura da válvula um pequeno desfasamento temporal. Foi possível ainda verificar que a bomba arranca, em média, sete vezes por dia.

2.2. Entrega de caudal à saída dos reservatórios apoiados

A entrega de caudal à saída dos reservatórios verificou-se em locais onde existem reservatórios que pertencem à gestão da Águas do Vouga. Com esta informação é possível perceber algumas tendências no consumo urbano, consumos por indústrias, ou outro tipo de características. Na figura seguinte (figura 14) encontram-se graficamente representados os padrões de consumo a jusante dos reservatórios R1, R4 e R9, em Macinhata do Vouga, Albergaria-a-Nova e Estarreja, respetivamente, ao longo de uma semana.

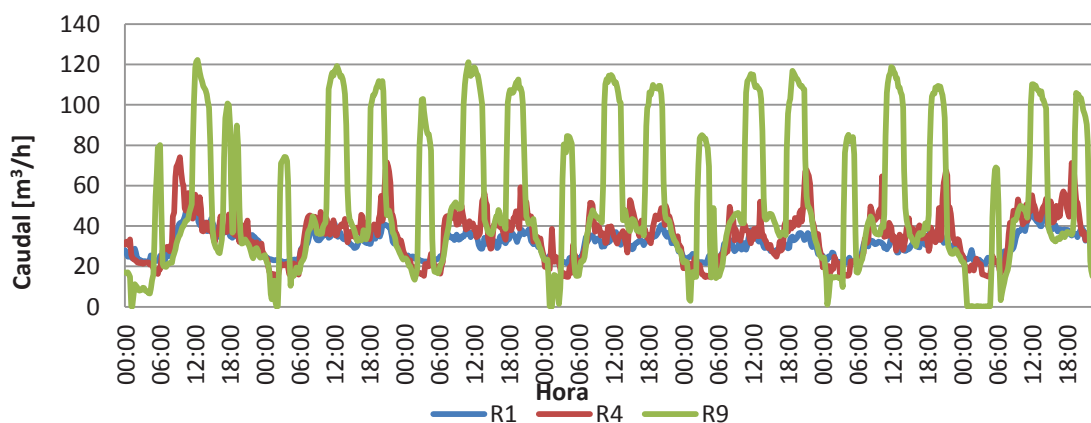


Figura 14: Padrões temporais de caudal (m^3/h) à saída dos reservatórios R1, R4 e R9.

É possível observar a existência de diferenças no consumo de água entre o período noturno e diurno, como seria de esperar em zonas urbanas. Identifica-se, também, na saída do R9, a existência de um pico de consumo em certas alturas do dia. Não foi possível identificar a razão para este pico, no entanto, este pode acontecer devido ao abastecimento de algum reservatório de distribuição que se encontre a jusante na rede.

A figura 15 representa o padrão temporal do ponto em que se verifica o maior consumo em todo o sistema, o reservatório apoiado R6. Este trata-se de um dos reservatórios que abastece a cidade de Aveiro. Esta localidade é abastecida por reservatórios apoiados e a partir de uma torre de pressão.

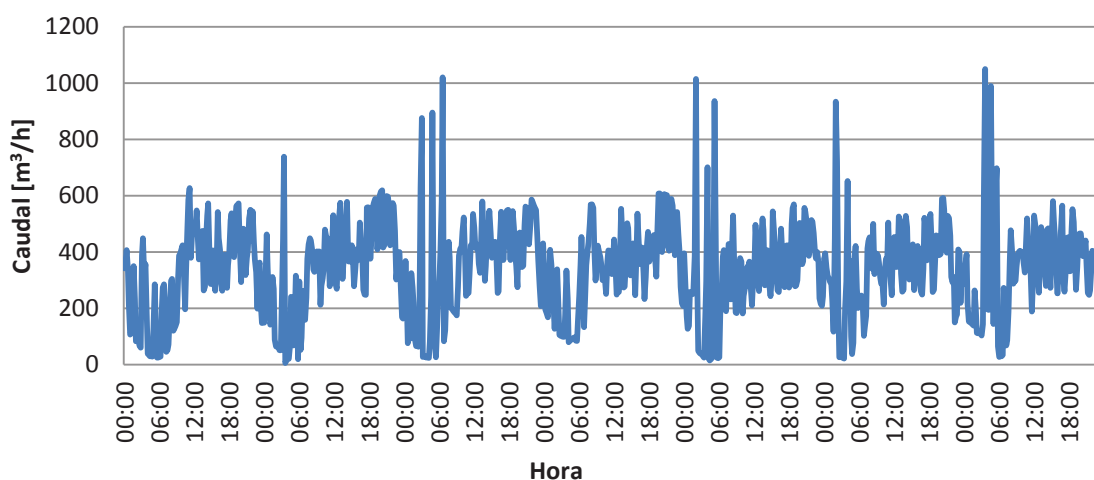


Figura 15: Padrão temporal de caudal (m^3/h) à saída do reservatório R6.

Observa-se um padrão temporário de consumo típico urbano, sendo que o período de maior consumo é naturalmente o diurno. Verifica-se, ainda, a existência de picos de caudal de distribuição, que acontecem com maior frequência durante o dia de sábado. Estes picos podem ocorrer devido ao abastecimento de reservatórios a jusante na rede, como por exemplo, a torre de pressão que abastece a cidade de Aveiro.

Por fim, apresenta-se o padrão temporal de consumo para o reservatório apoiado R7 na figura 16. Este reservatório tem associada uma torre de pressão.

De notar que na construção do modelo foi necessário fixar limites para os caudais que entram no R7 e R6. Isto foi conseguido com a introdução de duas FCV à entrada de cada um dos reservatórios.

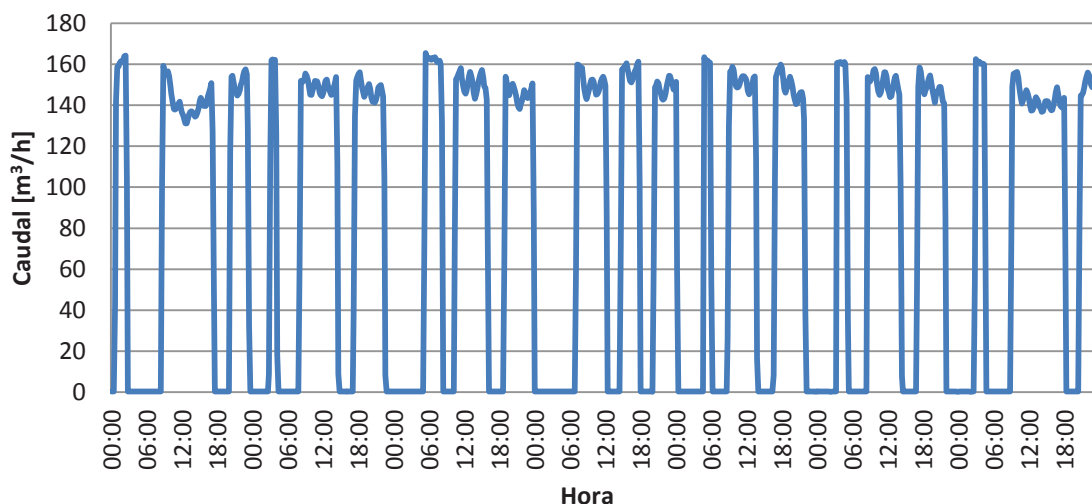


Figura 16: Padrão temporal de caudal (m^3/h) à saída do reservatório R7.

A água é elevada até ao reservatório elevado por um sistema de bombagem que é acionado automaticamente sempre que a água na torre desce de uma altura previamente definida, como se percebe pela representação gráfica. É possível ainda retirar do gráfico que a bomba arranca, em média, três vezes por dia.

3. Resultados da calibração

A calibração do modelo resultou da realização de um processo iterativo, cujos passos principais foram repetidos até as condições de aceitabilidade serem verificadas.

As metas de calibração foram definidas no capítulo anterior e passam por obter concordâncias entre o modelo e o sistema nos seguintes aspetos:

- Valores de pressão em pontos previamente selecionados – pontos de entrega à entrada dos reservatórios e em algumas válvulas ao longo do sistema;
- Flutuações do nível dos reservatórios;
- Caudais de água à saída das estações elevatórias.

A verificação da calibração foi realizada em escolhendo o dia da semana de maior consumo, sábado, como verificado anteriormente. Já o passo temporal selecionado para a realização deste processo foi de 24 minutos, ou seja, a verificação do parâmetro a calibrar efetuada a cada 24 minutos.

De seguida são apresentados os resultados obtidos no processo de calibração. Devido ao elevado número de pontos selecionados são somente apresentados graficamente alguns exemplos. Todos os resultados conseguidos através da calibração do modelo encontram-se tabelados no anexo III.

Na figura 17 é exibida a variação da pressão ao longo do dia, à entrada do R0-Centro de Saúde (Águeda) registada no sistema de telegestão e no modelo. É possível afirmar que o modelo neste ponto se encontra calibrado pois o modelo apresenta um comportamento muito semelhante ao sistema, dentro do $\pm 5,0$ m.c.a. de tolerância.

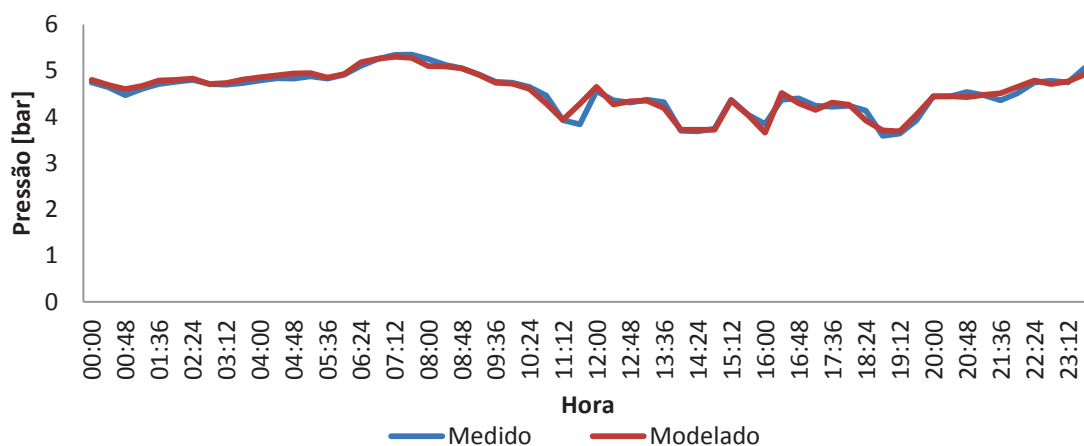


Figura 17: Variação da pressão (m.c.a) no ponto de entrega R0-Centro de Saúde.

Na figura 18 é representada a flutuação do nível no reservatório R4 ao longo do dia. Verifica-se que também neste ponto o modelo consegue simular de forma fíável o comportamento do sistema, sendo que simula as variações da altura de água no reservatório dentro do intervalo admitido de $\pm 20\%$.

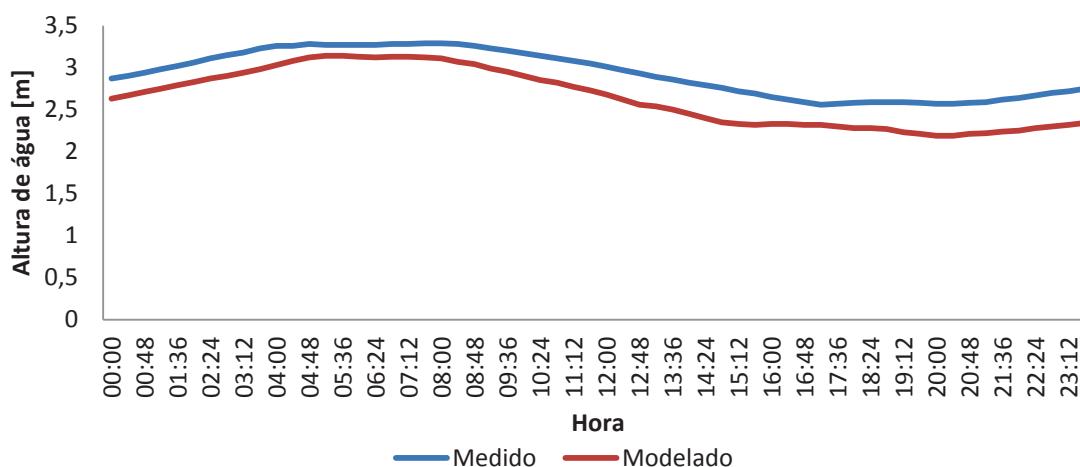


Figura 18: Variação do nível (m) de água no reservatório R4 ao longo do dia.

Por fim, na figura 19 é representado o caudal à saída da estação elevatória EE1. É possível verificar que o caudal simulado pelo modelo é idêntico ao registado no sistema de telegestão, sendo que se verifica dentro da tolerância de $\pm 20\%$.

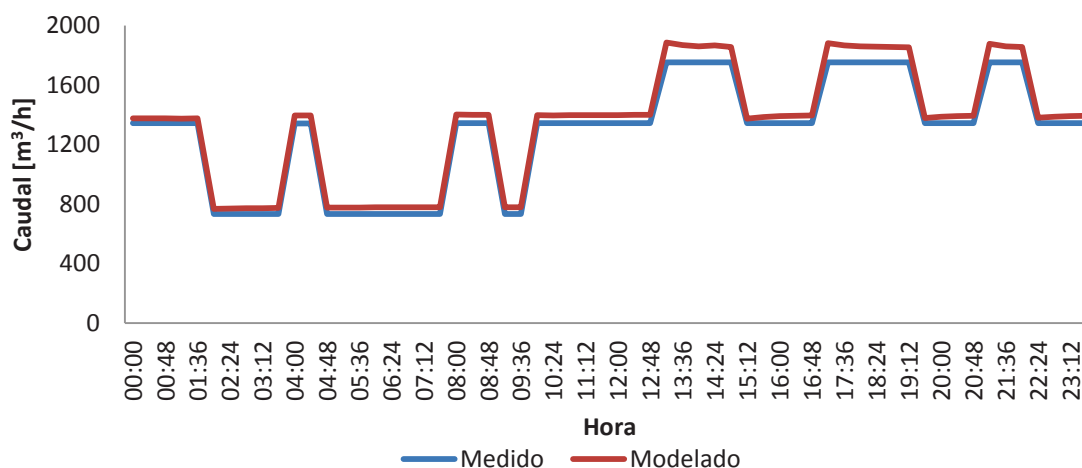


Figura 19: Variação do caudal (m³/h) à saída da EE1 ao longo do dia.

Com a confirmação que os pontos seleccionados se encontram calibrados, é possível afirmar que o modelo simula de forma fiável o comportamento do SRC. A calibração das pressões à entrada de reservatórios e do nível de água dá a garantia que não só as características das válvulas de manobras (abertura e fecho) e válvulas altimétricas dos reservatórios se encontram bem configuradas no modelo, como também, que os caudais de adução simulados são idênticos aos do sistema, traduzindo-se, por isso, numa boa simulação do sistema.

Foi possível aferir a calibração em todos os pontos, à exceção do setor que é constituído pelo R12 (Murtosa), R15 (Torreira) e R17 (São Jacinto). Nestes três pontos de entrega não foi possível atingir as metas estabelecidas, como se verifica na figura 20.

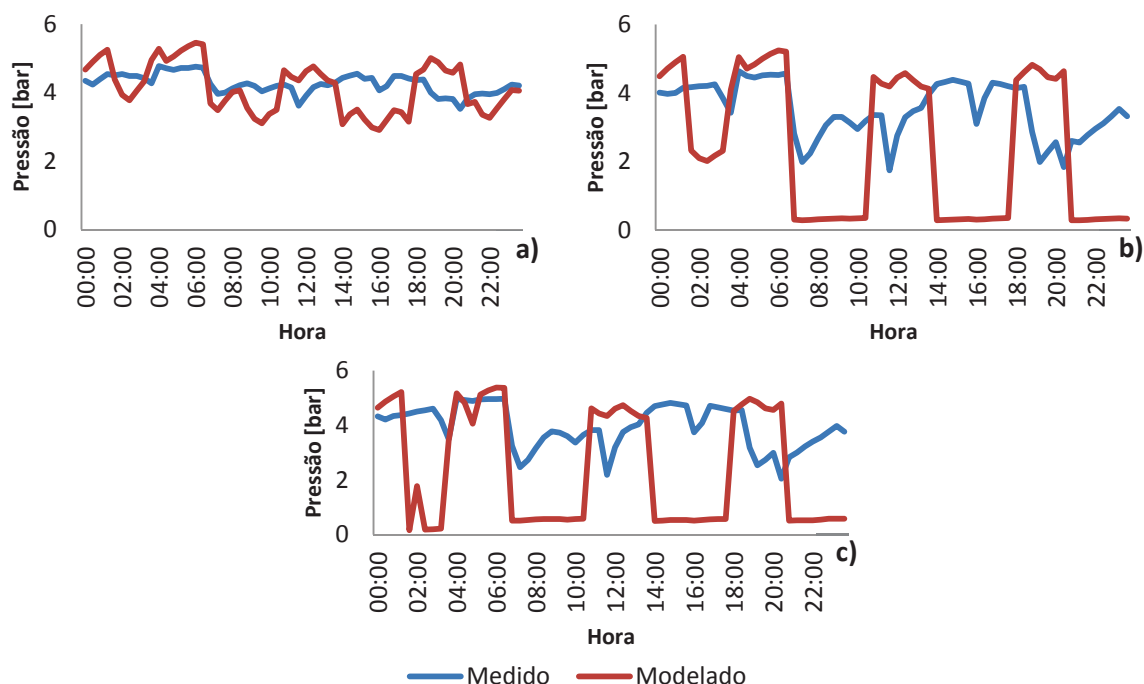


Figura 20: Variações da pressão (bar) ao longo do dia na entrada dos reservatórios a) R12, b) R15 e c) R17.

É possível, então, verificar que a variação temporal da pressão modelada na entrada dos reservatórios apoiados não segue o mesmo comportamento que a verificada no sistema de telegestão. Observa-se que neste setor o modelo é afetado pelo comportamento de abertura e fecho da válvula de entrada do reservatório apoiado R15, visto que nos reservatórios R12 e R17 a entrada de água é controlada por válvulas altimétricas. No SRC não se verifica tamanha influência deste equipamento, pelo que esta dificuldade pode resultar da existência de elementos ou equipamentos que não foram possível identificar e obter informação.

Existe ainda o caso do ponto de entrega em Ervedal, que segundo os objetivos para a calibração não se pode afirmar calibrado. No entanto, é possível perceber que consegue uma boa representação do comportamento de abertura e fecho da válvula de manobras à entrada do reservatório, como se pode verificar na figura seguinte (figura 21).

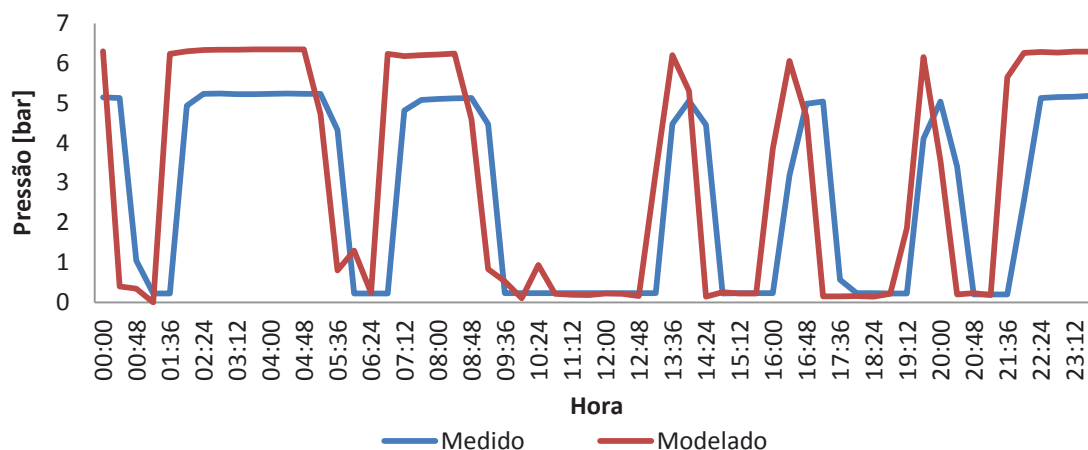


Figura 21: Variação da pressão (bar) no ponto de entrega de Ervedal ao longo do dia.

É possível, ainda, verificar a existência de um certo desfasamento temporal entre a simulação e os dados registados no sistema de telgestão. Este pode dever-se à interpolação que foi necessário realizar para a construção dos padrões de consumo temporais.

É de referir a existência de pontos em que não foi possível realizar a verificação da calibração devido à ausência de registos temporais de caudal e pressão nestes locais. É o caso dos pontos de entrega de Recardães, Sto. António, Fermentelos, Oiã, ZI de Oiã, Ovar, ZI Estarreja. Deve-se realizar a calibração e a consequente verificação nestes pontos assim que haja o registo de dados.

Capítulo VI – Discussão dos resultados de modelação

1. Exploração do modelo

Do ponto de vista do desempenho técnico do modelo importa salientar a boa representatividade que foi possível obter, tendo por base os elementos, funcionamento e operação do SRC, informação esta previamente recolhida.

Foi realizada uma simulação ao longo de sete dias, com o objetivo de analisar o desempenho hidráulico do SRC. É de notar que o primeiro dia de simulação, domingo, não foi usado para a discussão de resultados, visto que durante este tempo os resultados do modelo são dependentes das condições iniciais afastadas do equilíbrio. Os resultados apresentados são, portanto, representativos do funcionamento do sistema de segunda-feira a domingo

No decorrer da análise foram estudadas as características físicas do sistema, nomeadamente a topográfica, comprimento e diâmetro das condutas, estáticas ao longo da simulação. No ponto de vista das principais variáveis de estado, com influência no desempenho hidráulico do sistema de abastecimento, foram estudados os indicadores de caudal, pressão, perda de carga e velocidade de escoamento.

Exploraram-se também as capacidades de avaliação de qualidade da água do modelo, realizando-se uma análise à idade da água na saída do sistema.

Como referido anteriormente, foi utilizado um modelo simplificado, no qual a entrada de água é apenas representada apenas com um RNF, com uma superfície livre a uma cota superior à do reservatório REE1, de modo a garantir a alimentação gravítica deste.

2. Análise do desempenho hidráulico

2.1. Estrutura física do sistema

Numa primeira abordagem à análise de resultados é efetuada uma descrição genérica das características do sistema, como a topologia do terreno e os diâmetros das condutas.

Na figura seguinte (figura 22) é apresentado um mapa de isolinhas. Este representa a altitude do terreno ao longo do sistema em estudo. É possível verificar a evolução quase totalmente gravítica do sistema a partir dos dois reservatórios intermédios ou de regularização de transporte, o RPA e o RBeco assinalados na figura.

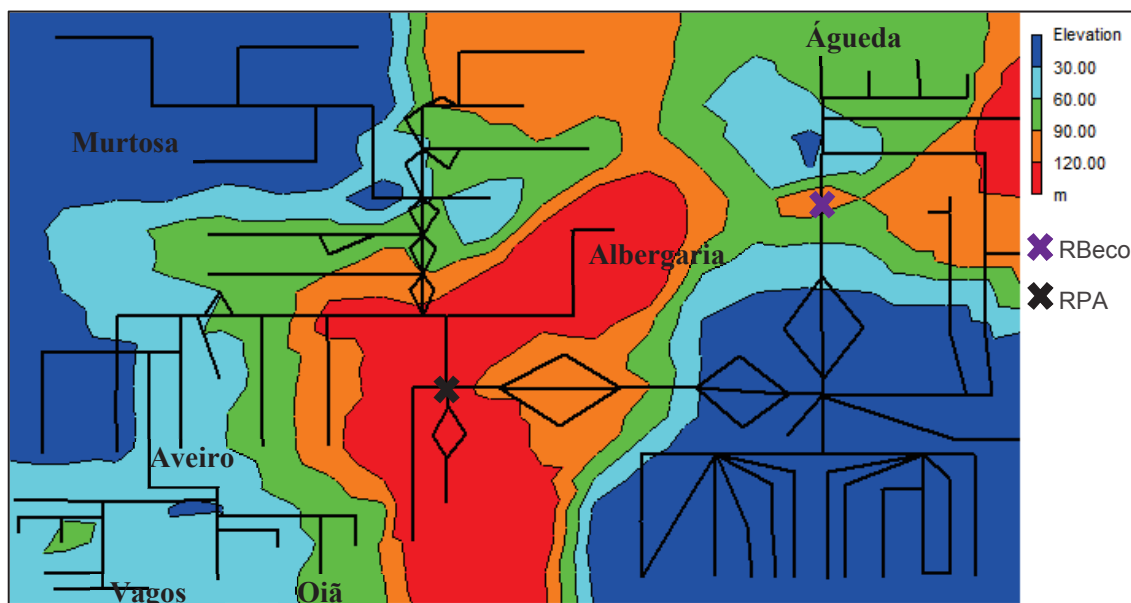


Figura 22: Mapa de isolinhas da topografia do sistema.

Já na tabela 14 são descritas as extensões das condutas em função do seu diâmetro onde é possível verificar a predominância de condutas de médio e grande diâmetro

Tabela 14: Extensão das condutas tendo o conta o seu diâmetro.

Diâmetro das condutas (mm)	Extensão (m)
< 100	4391
100-250	108394
250-500	101940
500-700	33047

A representação dos diâmetros é um dos aspetos que permite analisar a estrutura base do sistema. O esquema da figura 23 permite a análise do diâmetro das condutas distribuídas ao longo do sistema.

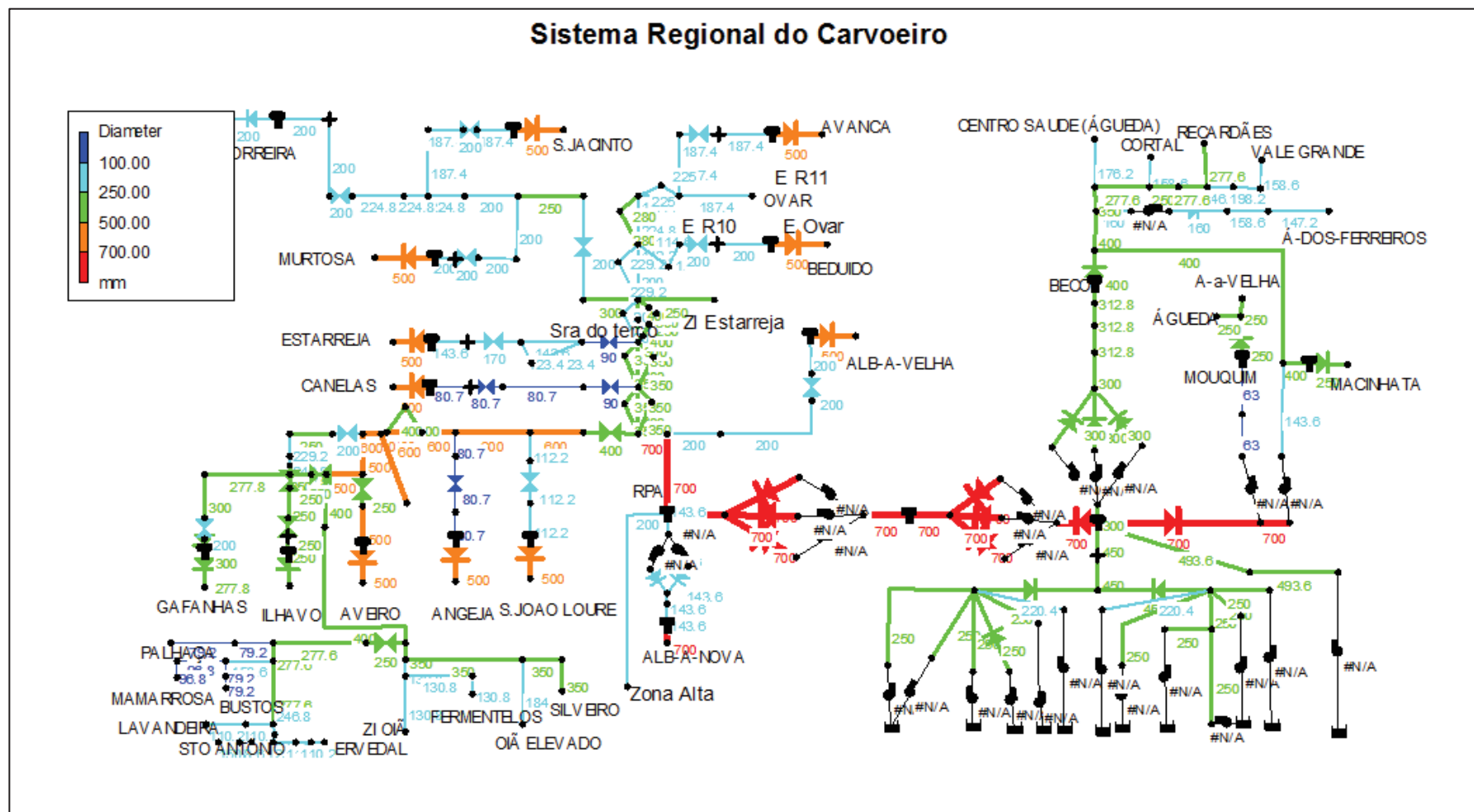


Figura 23: Representação dos diâmetros (mm) das condutas.

2.2. Indicadores de caudal

A análise dos caudais em pontos importantes do SRC permite perceber o seu comportamento. Neste sentido são de seguida apresentadas duas figuras que representam graficamente os caudais aduzidos e posteriormente distribuídos pelos dois grandes reservatórios intermédios, o RPA e o RBeco (figura 24 e 26), ao longo de todos os instantes de tempo da simulação (168 horas). A entrada e saída de água no reservatório são reproduzidas pelos troços imediatamente a montante, “TRPA” e “TRBeco”, e a jusante, “TsRPA” e “TsRBeco”, dos reservatórios apoiados, respetivamente.

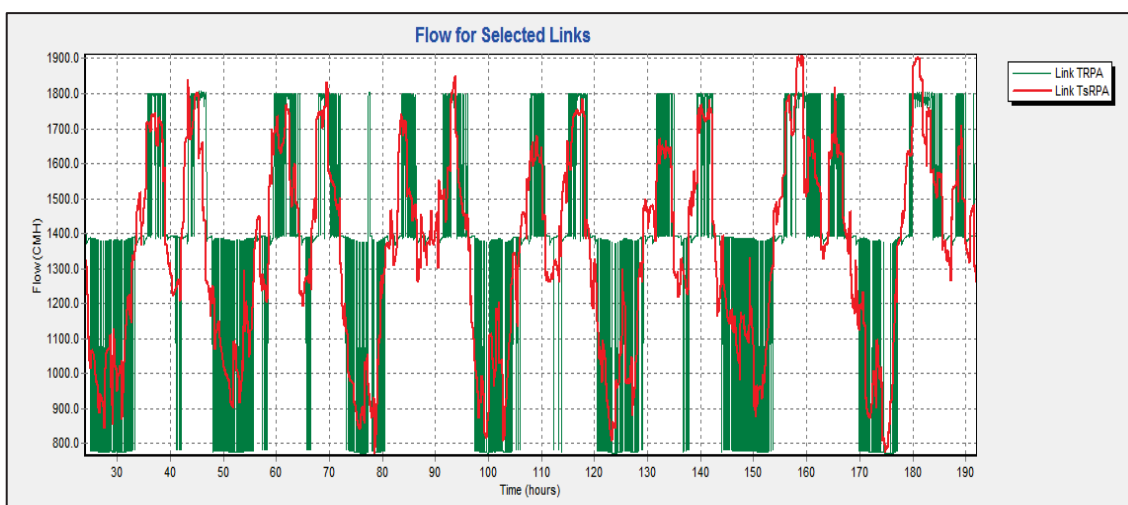


Figura 24: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RPA, ao longo da simulação.

Pela análise da figura, é possível perceber a existência de comportamentos totalmente distintos entre o consumo no período noturno e diurno. Tal como verificado na análise de volumes fornecidos, o dia em que ocorre maior consumo de água é sábado, sendo que o consumo máximo acontece por volta das 14:00h. Ao invés o dia de menor consumo é quinta-feira, sendo que o consumo mínimo verificado ocorre domingo por volta das 6:00h. Na figura 25 é apresentada em detalhe a adução e distribuição de água pelo RPA para o dia em que se verificou o maior consumo, sábado.

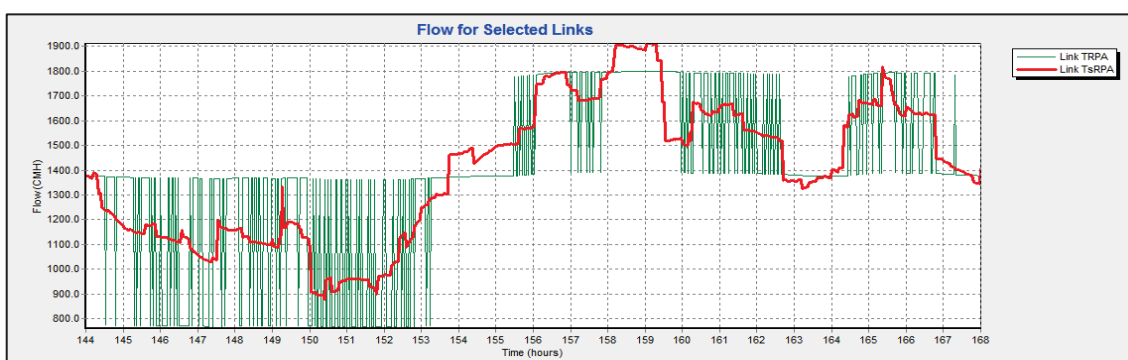


Figura 25: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RPA para os instantes de simulação 144h a 168h, sábado.

O caudal de elevação representado é o caudal bombeado pela estação elevatória EE2 que se localiza a montante do reservatório intermédio RPA.

Seria interessante a análise o número de arranques das bombas ao longo do dia, porém devido a algumas limitações no controlo das estações elevatórias pelo nível de água dos reservatórios que fornecem, não foi possível obter resultados fiáveis neste sentido, como se percebe pelo elevado número de arranques e paragem que as bombas apresentam. No entanto, é possível retirar que durante os instantes de menor consumo a estação oscila entre o funcionamento de uma bomba e duas, e que, durante os períodos de maior consumo oscila entre as duas e três bombas. Percebe-se ainda que do instante 158h até ao instante 160h, a estação elevatória funciona na sua capacidade máxima.

Das análises efetuadas e do contacto que se teve com o sistema, foi possível aferir que nenhuma das estações elevatórias que bombeia água até ao RPA, EE1 e EE2, cessa por completo. Observa-se o funcionamento de pelo menos um grupo de bombagem. Os grupos em funcionamento vão variando por forma a garantir igual desgaste em todos. Esta gestão fica a cargo dos operadores da ETA, sendo o arranque e paragem das bombas efetuado manualmente.

A figura 26 representa os caudais de entrada e de saída do reservatório intermédio do Beco.

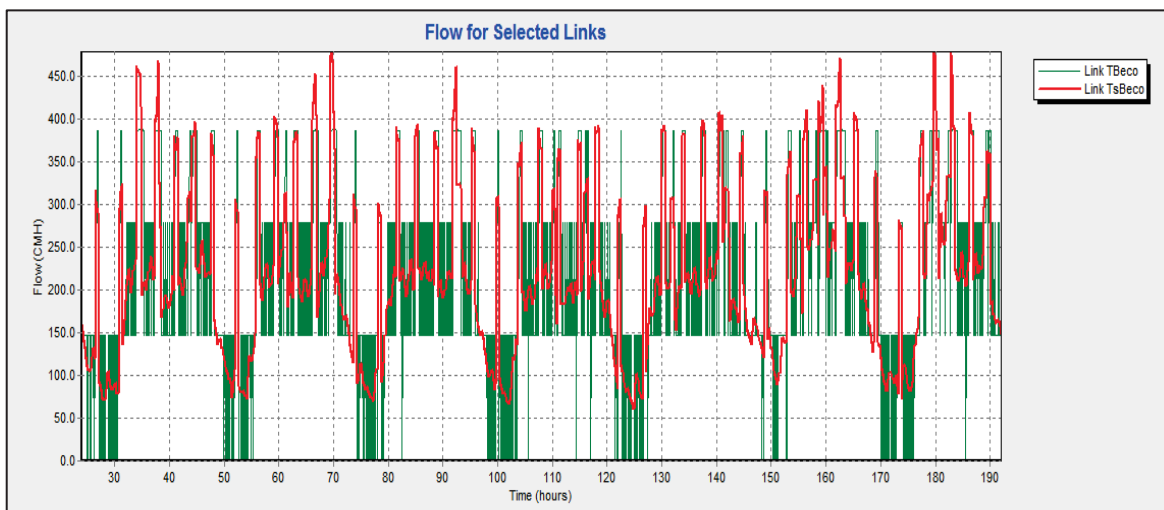


Figura 26: Caudais (m^3/h) à entrada e à saída do RBeco, ao longo da simulação.

Pela análise da figura relativa ao RBeco é possível observar, tal como no caso anterior, um comportamento distinto entre o consumo de água no período diurno e noturno. Para este setor do sistema, o dia de maior consumo é o sábado, enquanto o dia em que se verifica menor consumo é segunda-feira. O consumo máximo da simulação ocorre domingo pelas 8:00h e o mínimo ocorre

sexta-feira às 5:00h. Observam-se, ainda, vários picos de distribuição de caudal que se devem ao abastecimento do reservatório apoiado R1.

Na figura 27 apresenta-se com maior detalhe a adução e distribuição de caudal pelo RBeco para o dia de sábado.

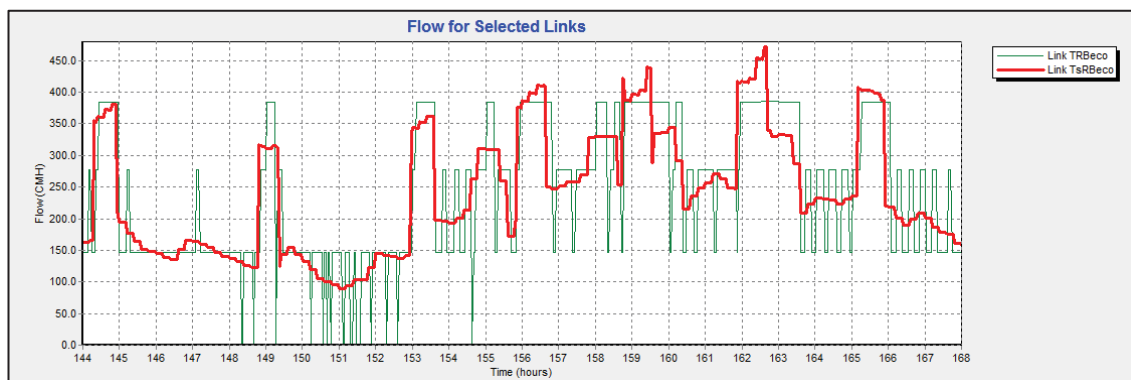


Figura 27: Caudais (m³/h) à entrada e à saída do RBeco para os instantes de simulação 144h a 168h, sábado.

É possível observar que durante o período noturno a estação elevatória opera maioritariamente apenas com uma bomba. Já durante o período diurno a operação oscila entre o funcionamento de duas e três bombas de modo a conseguir cumprir com o caudal distribuído pelo RBeco.

Como já mencionado, as estações elevatórias operam em função do nível do reservatório a que fornecem água. É possível então afirmar, que o número de grupos de bombagem em funcionamento e consequentemente o caudal elevado até ao reservatórios, varia também em função do caudal de saída dos reservatórios.

Foi ainda possível retirar que, a distribuição na rede a jusante do RPA representa cerca de 80 a 85% do caudal total fornecido ao sistema. Na figura seguinte (figura 28) apresenta-se esquematizado a distribuição espacial de caudais no SRC para o instante de maior consumo.

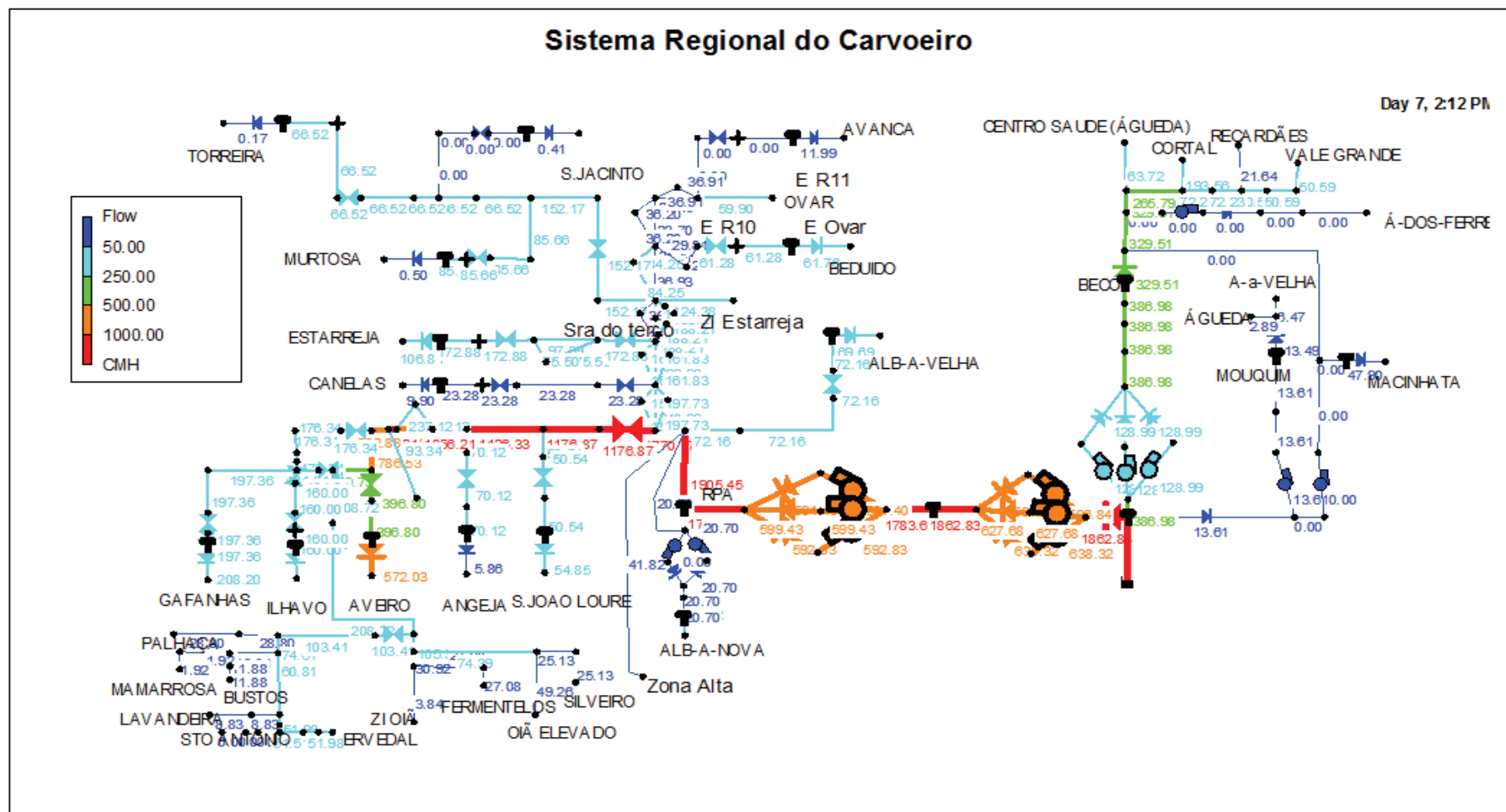


Figura 28: Distribuição do caudal (m³/h) ao longo do sistema, para o instante de consumo máximo.

Pela análise do esquema é possível identificar as condutas que transportam maiores caudais. Partindo da EE1 a conduita que liga ao RPA transporta cerca de 80% da água que entra no sistema e a conduita que liga ao reservatório intermédio do Beco transporta os restantes 20%. Já a conduita que sai do RPA dá origem à conduita para norte e à conduita para sul. A primeira transporta cerca de 35% do caudal distribuído pelo reservatório. A última é a conduita com maior diâmetro e abastece locais como Aveiro, Ílhavo e Vagos e transporta cerca de 58% do caudal. Os restantes 7% são distribuídos em localidades próximas do RPA, como Albergaria-a-Velha e Albergaria-a-Nova.

Identifica-se ainda que, o R6 é o reservatório com maior caudal de adução, corroborando o facto de este ser o maior reservatório de distribuição presente no sistema. Verificou-se, neste reservatório, um caudal médio de adução de 396,8 m³/h.

Alguns troços apresentam caudal nulo, uma vez que no instante de simulação exibido os respetivos reservatórios se encontravam fechados.

2.3. Indicadores de pressão

A pressão indicador importante que permite verificar as condições hidráulicas do sistema e o cumprimento dos limites regulamentares impostos pela legislação em vigor. O Decreto Regulamentar 23/95 de 6 de agosto define as pressões mínimas e máximas estáticas de serviço, não definindo metas para os sistemas adutores. Desta forma, pretende-se garantir que a pressão à entrada dos reservatórios seja suficiente para haver entrada de água e não seja excessiva, de modo não a danificar os equipamentos. Por outro lado a ocorrência de pressões elevadas em pontos de entrega oferece oportunidades de aproveitar a energia hidráulica disponível. Tal situação verifica-se na entrada do R6, com uma turbina (TERESA) e poderá permitir alimentar torres de pressão além dos reservatórios apoiados.

O esquema representado na figura seguinte (figura 29) traduz a distribuição espacial da pressão ao longo do sistema para o período de menor consumo e consequentemente a situação mais crítica no que toca às pressões máximas.

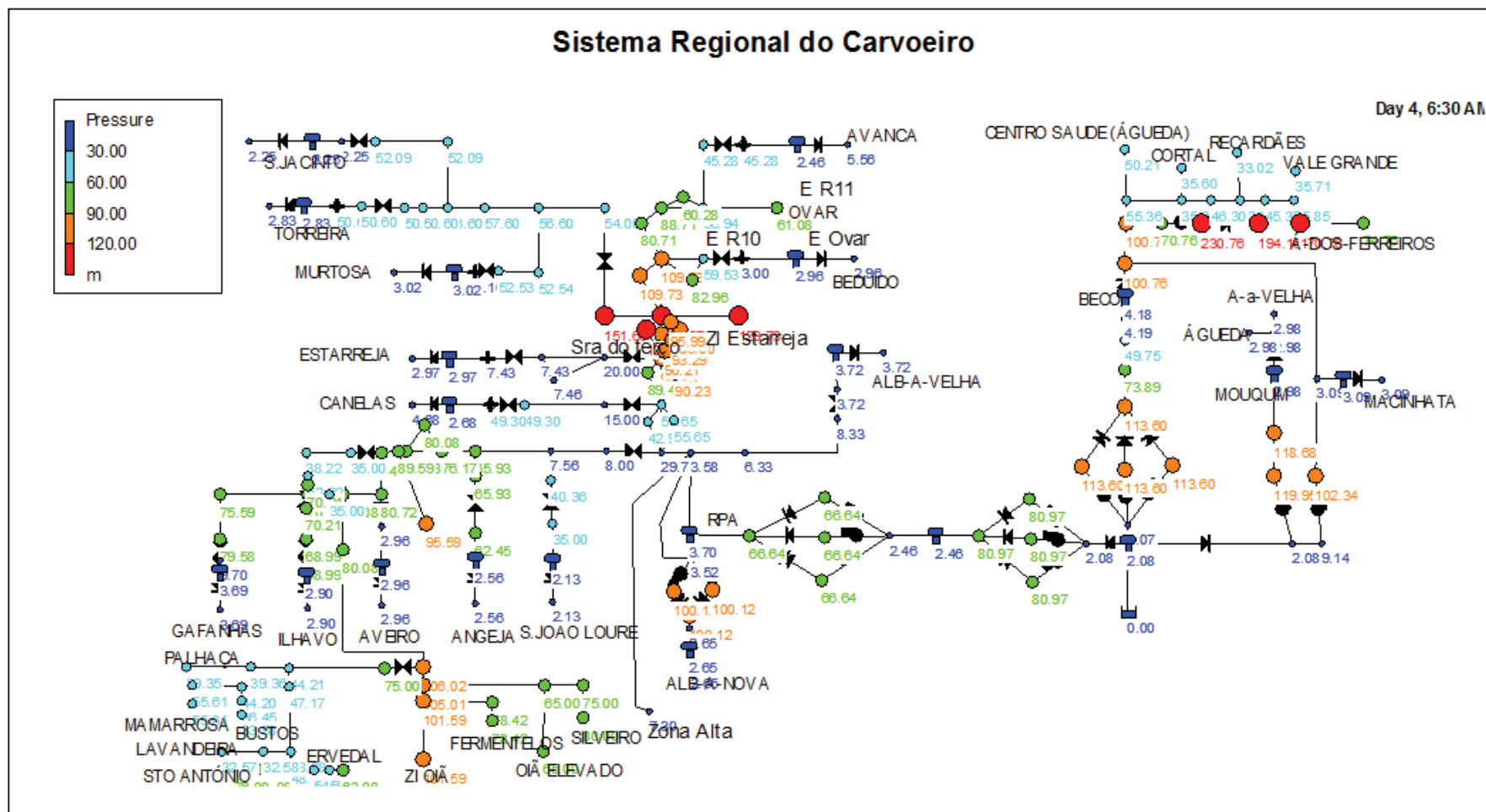


Figura 29: Pressão (m.c.a) nos diversos nós para o instante de menor consumo da simulação.

É possível observar através da análise do mapa, a existência de elevada pressão, acima dos 10 bar, em nós imediatamente a jusante de grupos de bombagem e estações elevatórias. Observou-se, também, elevada pressão, acima de 12 bar, em pontos de menor altitude. Tendo em conta estes resultados realizou-se uma verificação das classes de pressão das condutas. Constatou-se que em locais onde se verifica maior pressão, a classe das condutas é maior e, portanto, mais resistente a tais pressões. Estes troços são maioritariamente compostos por condutas de FF ou condutas de PEAD PN 16. Estes casos observaram-se, por exemplo, nos troços de conduta a montante do reservatório apoiado das Gafanhas, RGafanhas, nos troços a montante dos pontos de entrega de ZI Estarreja e ZI Oiã, à saída de estações elevatórias, entre outros.

Tendo em conta que são várias as PRV ao longo do sistema realizou-se um exercício de forma a perceber a sua importância. Foi efetuada uma simulação com a alteração da configuração destas válvulas para o estado aberto. Desta forma foi possível perceber em que sentido é que estas afetam o sistema. A figura 30 representa os resultados obtidos para a situação descrita.

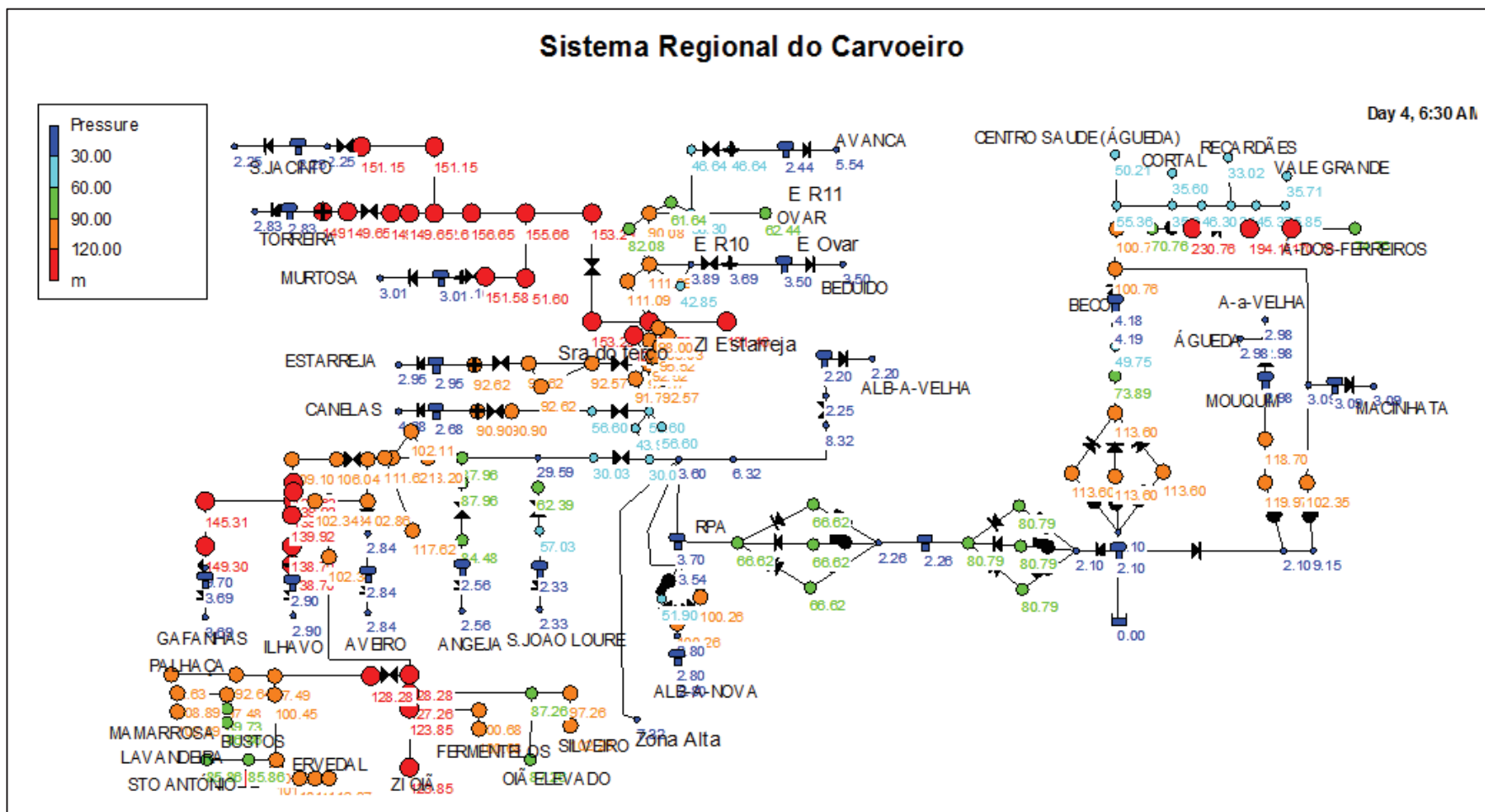


Figura 30: Representação da pressão (m.c.a) no sistema sem a utilização de PRV.

Da análise do esquema percebeu-se que sem este tipo de válvulas, grande parte do sistema fica sujeito a pressões excessivas superiores a 10 bar. Estes locais estão, portanto, mais suscetíveis a problemas, como roturas em condutas e danificação de equipamentos ao longo do troço e à entrada nos reservatórios.

O sistema fica, também, sujeito a maiores flutuações de pressão ao longo do dia, podendo provocar maior desgaste nas condutas e maior suscetibilidade a roturas. Estas, por sua vez, originam flutuações de velocidade, também causadores de problemas nas infraestruturas.

Compreende-se, então, que sem a existência das PRV, a fiabilidade do sistema seria muito reduzida estando sujeito a graves problemas operacionais e infraestruturais, podendo resultar em impactes a nível económico, ambiental e social.

Por outro lado é possível perceber que com o aumento da pressão de configuração das PRV ou até mesmo a sua desativação, pode abrir a possibilidade de alimentar as torres de pressão sem ser necessário recorrer a sistemas de bombagem. Observando o caso do reservatório apoiado das Gafanhas, que possui um reservatório elevado associado, verifica-se que, com algum estudo prévio, seria possível aproveitar a energia hidráulica do escoamento que chega ao reservatório e elevar a água até à torre de pressão

2.4. Indicadores de perda de carga

É relevante também a análise da carga (*head*) ao longo da rede. Esta variável inclui a variação das pressões estáticas e dinâmicas ao longo do sistema. É um parâmetro de importante análise, uma vez que permite verificar as perdas de carga ao longo do sistema.

Nas figuras seguintes são apresentados gráficos de perfil que permitem perceber de que forma é afetada a carga ao longo das principais condutas da rede. Os perfis tiveram como ponto de partida os respetivos reservatórios intermédios (RPA e RBeco) e como ponto de chegada o reservatório de distribuição ou o ponto de entrega associado, sendo ainda exibidos alguns pontos intermédios do percurso selecionado e pontos adjacentes a válvulas redutoras de pressão. Estes permitem analisar tanto as perdas de carga localizadas como as perdas de carga em linha.

A figura 31 demonstra a perda de carga na linha desde o RPA até ao R6. Este percurso foi selecionado devido à importância deste reservatório de distribuição.

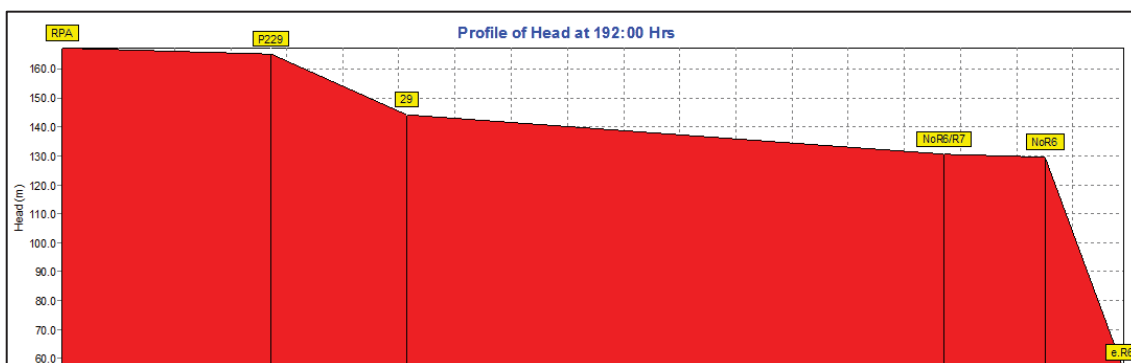


Figura 31: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrega à entrada do R6 (Aveiro).

No percurso acima representado, destaca-se a presença de uma PRV entre os nós “P229” e “29”, percebendo-se que a elevada perda de carga entre estes dois nós corresponde a uma perda de carga localizada. Verifica-se, também, elevada perda de carga entre o “NoR6” e o “e.R6” (nó que representa a entrada no R6), que se deve à existência de uma FCV que pretende simular a turbina hídrica à entrada do R6. Esta trata-se das maiores perdas de carga de todo o sistema.

Na figura seguinte (figura 32) é representada a perda de carga no percurso até ao R17. Este trata-se do percurso com maior comprimento de conduta do sistema.

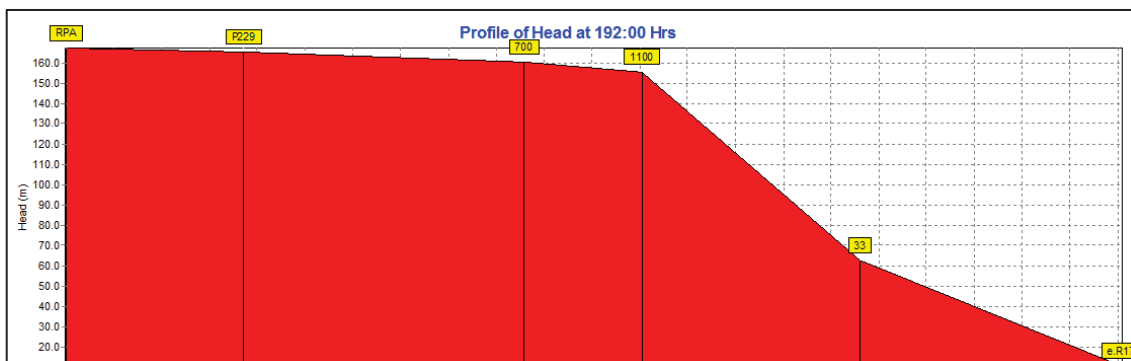


Figura 32: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrada do R17 (São Jacinto).

É possível observar que, a perda de carga mais notória ao longo do percurso acontece entre os nós “1100” e “33”. Entre estes encontra-se localizada uma PRV.

Entre o nó “33” e o nó que representa a entrada do R17, “e.R17” observa-se uma perda de carga a rondar os 40 m.c.a.. Esta deve-se exclusivamente à rugosidade na parede das condutas, que diminui a energia no escoamento ao longo do percurso, causando a perda de carga em linha. Neste percurso as condutas perfazem um comprimento total de 24 km, resultando numa perda de carga unitária a rondar os 2 m/km.

A figura 33 representa a perda de carga desde o RPA até ao reservatório das Gafanhas, RGafanhas.

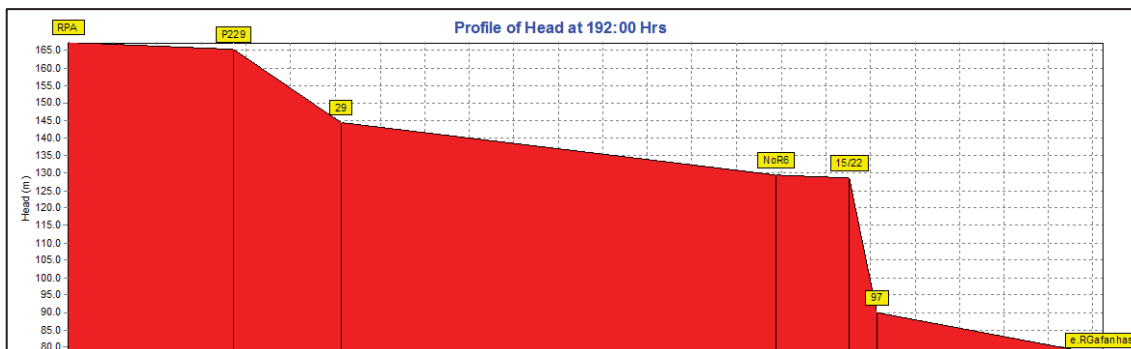


Figura 33: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrada do RGafanhas (Gafanhas).

Verifica-se, ao longo desta linha, a existência de duas PRV, uma localizada entre o nó “P229” e “29” e outra entre o nó “15/22” e “97”, que provocam perdas de carga localizadas, sendo onde se observam as maiores perdas de carga. O nó “97” até à entrada do reservatório são uma sucessão de condutas que perfaz um comprimento total de 12 621 metros, que provoca a perda de carga em linha observada de 11 m.c.a..

Por fim, na figura 34, representa-se a perda de carga até ao ponto mais distante do RBeco.

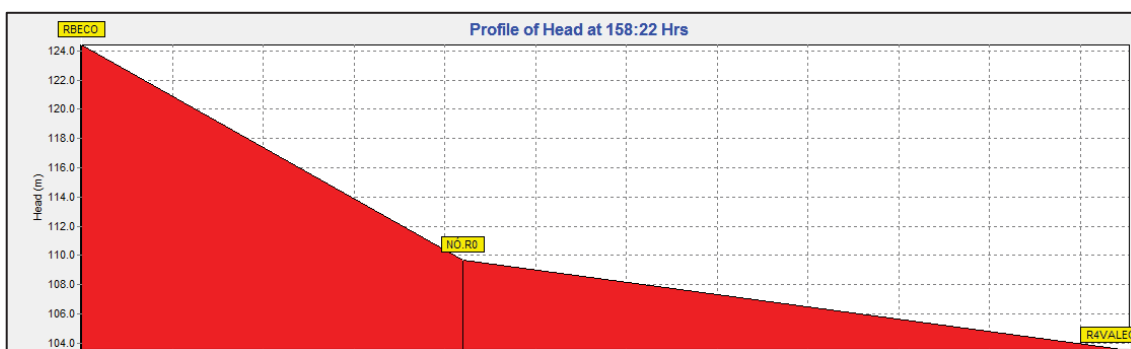


Figura 34: Perfil da carga ao longo das condutas até ao ponto de entrega do R4-Vale Grande.

Neste percurso não se verificam perdas de carga localizadas, sendo que a perda de energia se deve somente à rugosidade na parede das condutas.

2.5. Indicadores de velocidade de escoamento

Por fim, importa analisar a velocidade de escoamento nas condutas. Este exercício torna-se relevante, pois permite verificar se a velocidade cumpre os requisitos no que toca à velocidade mínima e máxima segundo o Decreto Regulamentar 23/95 de 6 de agosto. Este decreto indica uma fórmula de cálculo para as velocidades máximas admitidas nas condutas em função do diâmetro interno. No entanto, foi tomado como guia o valor de 1,5 m/s para a velocidade média, recomendado pela Norma Portuguesa-837 (1971), para as grandes condutas dos sistemas adutores acima dos 400 mm de diâmetro. A figura seguinte (figura 35) esquematiza a velocidade nos vários troços para o instante de maior consumo da simulação.

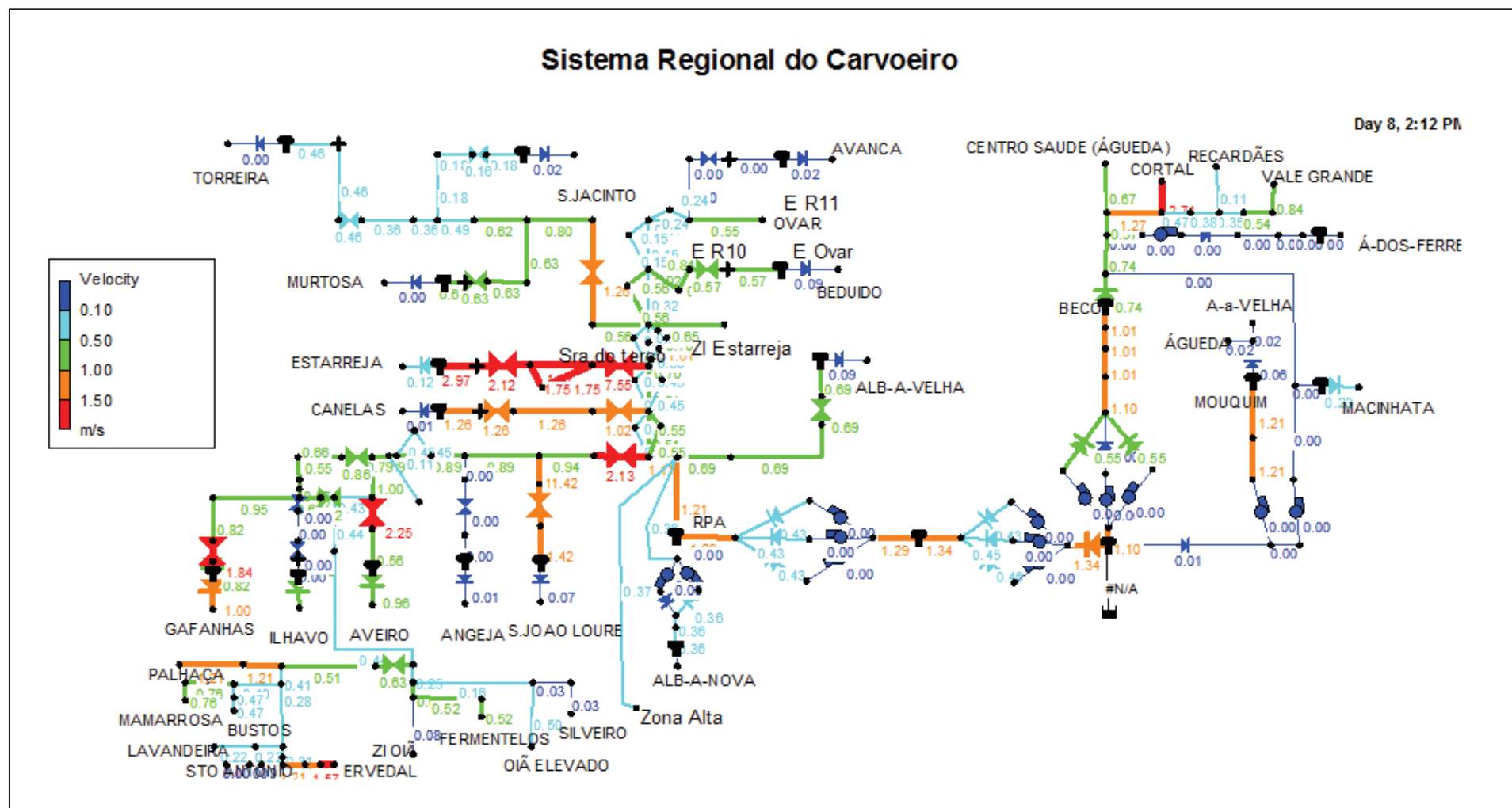


Figura 35: Velocidade de escoamento (m/s) ao longo do sistema.

Com a análise do esquema é possível verificar que a velocidade máxima recomendada pela Norma é cumprida em todas as grandes condutas. As condutas elevatórias que transportam a água da ETA ao RPA, de 700 mm de diâmetro, apresentam uma velocidade na conduta de 1,34 m/s na EE1 e 1,29 m/s na EE2. Na conduta de saída do RPA, também com 700 mm de diâmetro, verifica-se uma velocidade de 1,21 m/s e por fim, na conduta que transporta a água até às regiões de Aveiro, de 600 mm, verifica-se uma velocidade de 0,94 m/s.

É possível, ainda, identificar troços de diâmetros menores que excedem a velocidade recomendadas. Um destes casos são as condutas imediatamente a montante do RNV R9. Os troços que se encontram entre o nó de derivação para o R9 (nó “600”) e o reservatório R9 são compostos por uma conduta de 143,6 mm de diâmetro interno e, paralelamente a esta, uma conduta de reforço com 123,4 mm de diâmetro interno. Segundo o Decreto Regulamentar 23/95 de 6 de agosto a velocidade máxima nestas condutas não deve exceder a velocidade máxima de 0,9 m/s, no entanto foi verificada uma velocidade bastante superior à máxima recomendada, de 1,75 m/s.

É possível, também, identificar velocidades excessivas no troço entre o nó de derivação para o R1 – Cortal e o ponto de entrega de R1 – Cortal, no troço imediatamente a montante do ponto de entrega de Ervedal e na conduta de entrada do RNV R8. As condutas quando sujeitas a estas velocidades ficam mais suscetíveis a sofrer desgaste devido à abrasão de sedimentos nas paredes.

3. Aplicação à avaliação da qualidade da água

Como referido, o EPANET não só permite a avaliação das condições hidráulicas do sistema, como também a avaliação da qualidade da água. Neste sentido efetuou-se uma análise à evolução da idade da água ao longo de todo o sistema. Na figura 36 apresenta-se a distribuição relativa da idade da água ao longo dos nós de todo o sistema simulado, para o último instante da simulação (192 horas).

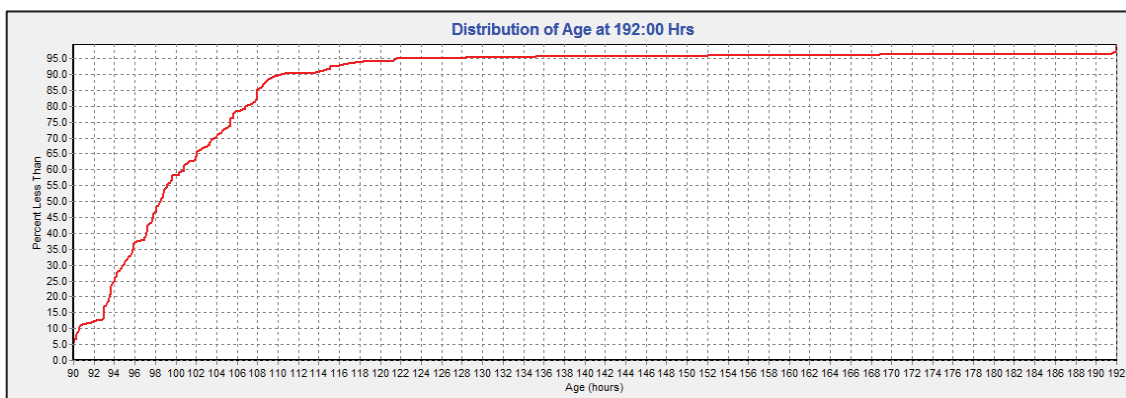


Figura 36: Distribuição relativa da idade da água em todo o SRC para 192 horas de simulação.

Na figura 37 apresenta-se a distribuição relativa da idade da água ao longo dos nós de todo o sistema simulado para um instante mais inicial (24 horas).

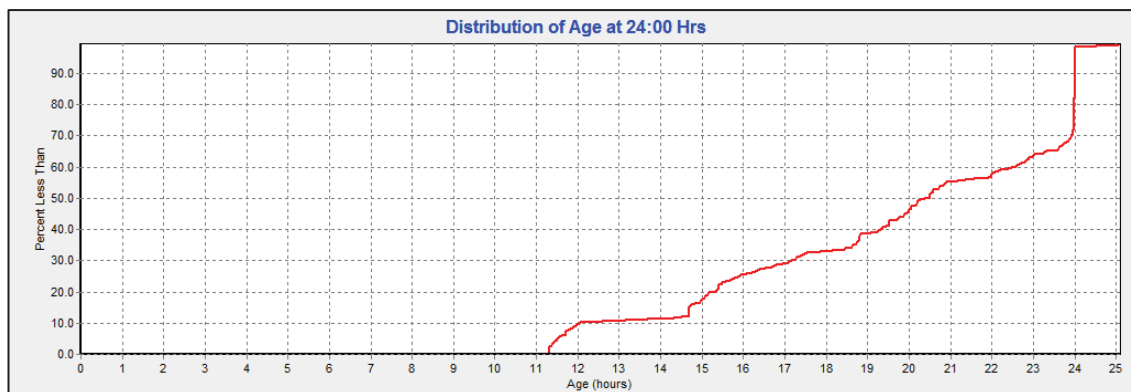


Figura 37: Distribuição relativa da idade da água em todo o SRC para 24 horas de simulação.

Torna-se importante esta análise, visto que permite perceber se o seu comportamento periódico da simulação se encontra estabilizado. Verifica-se que após 192 horas de simulação este não apresenta dependência do instante de simulação, como é verificado nos primeiros instantes. Estão assim garantidos melhores resultados.

De seguida são apresentadas algumas figuras que exibem o incremento da idade da água ao longo do seu percurso. As linhas analisadas foram selecionadas tendo em conta a relevância do ponto final (pontos de entrega e pontos de consumo em reservatórios), a distância do percurso e a necessidade de recloração em alguns pontos. Mais uma vez foi utilizada a funcionalidade do *software* que permite a aquisição de resultados sob a forma de gráficos de perfil.

De salientar que os percursos foram analisados desde o RNV correspondente à ETA/EE1 (entrada de água no sistema) até aos pontos de entrega. De notar que o modelo EPANET indica que a idade neste local é de cerca de 90 horas para o tempo de cálculo de 192 horas.

Exibem-se, ainda, alguns pontos intermédios do percurso, mais especificamente nós de derivação para os reservatórios.

A figura 38 representa a evolução da idade da água ao longo de toda a linha até à sua saída do R6, reservatório onde se verificou o maior consumo do sistema.

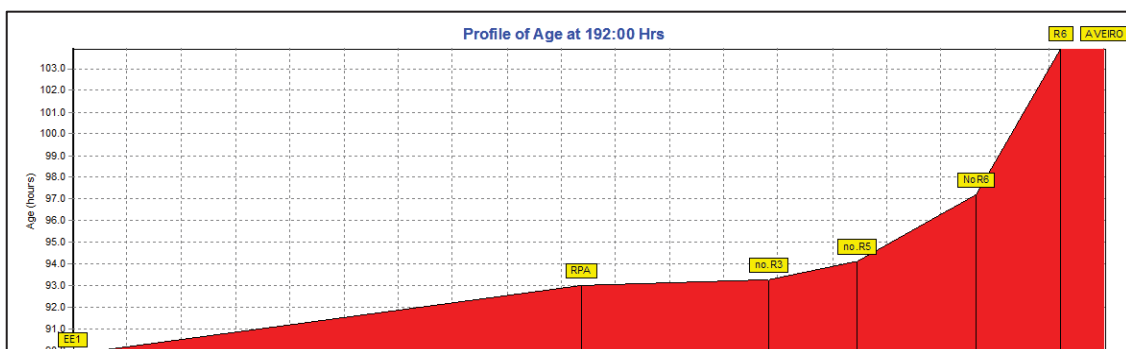


Figura 38: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R6 (Aveiro).

Com vista a encontrar a idade da água na saída do reservatório é necessário calcular a diferença entre a idade verificada no nó final e o nó da EE1. Percebe-se que a água sai do reservatório com pouco mais de 13 horas, sendo que a água demora 7 horas a chegar até ao reservatório. O baixo tempo de retenção da água no reservatório deve-se ao elevado consumo de água que se verifica neste local.

A figura 39 representa a evolução da idade da água até ao reservatório de São Jacinto, o R17. Como já referido, este trata-se dos percursos com mais comprimento de conduta do SRC.

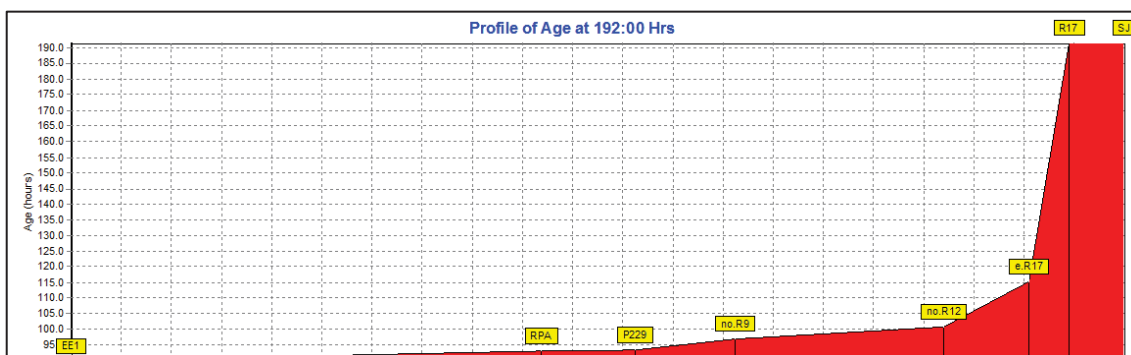


Figura 39: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R17 (São Jacinto).

Pela análise da figura, é possível perceber que à saída do reservatório idade da água é de cerca de 100 horas, ou seja, 4 dias e 6 horas. É possível constatar ainda que, o tempo de percurso da água é de 25 horas, sendo o tempo de retenção no reservatório de 75 horas. O elevado tempo de retenção deve-se ao facto de este se tratar de um ponto com baixo consumo.

A figura seguinte (figura 40) representa, também, a idade da água ao longo do seu percurso até à saída do R11.

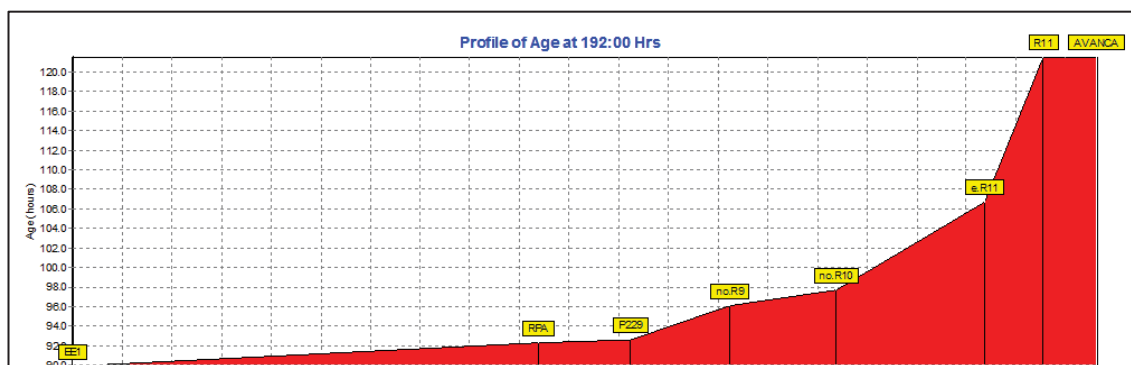


Figura 40: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R11 (Avanca).

Observa-se, então, que a idade na saída do reservatório é de 31 horas, sendo que o tempo de retenção no reservatório é de 14 horas.

A figura 41 representa a evolução da idade da água até à saída do R5, escolhido como exemplo de um reservatório de baixo consumo, próximo do RPA.

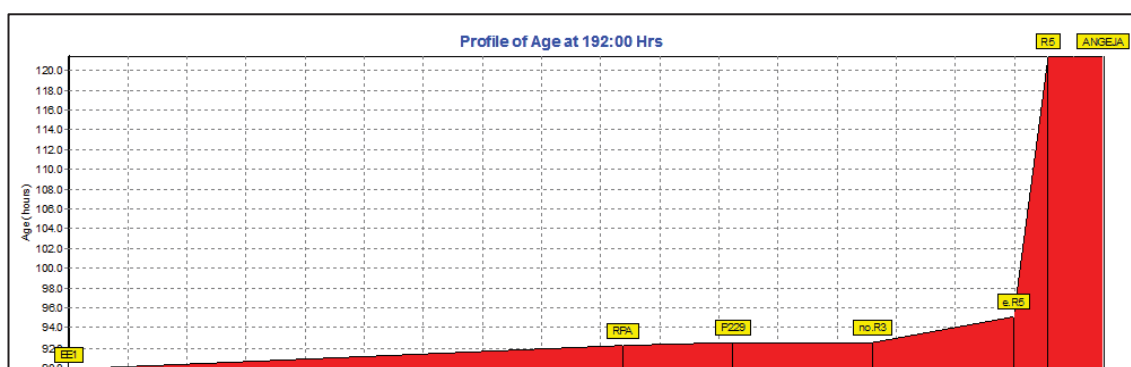


Figura 41: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até à saída do R5 (Angeja).

Verifica-se um baixo tempo de percurso, cerca de 5 horas, visto que a distância desde o RPA até ao reservatório de distribuição é menor que as anteriores. No entanto, o tempo de retenção no reservatório é superior a um dia. A água sai do R5 com 31 horas.

Nas duas figuras seguintes está representada a idade da água ao longo do seu percurso até dois pontos de entrega. Desta forma, não é possível identificar o tempo de retenção dentro dos respetivos reservatórios.

A figura 42 reproduz a idade da água ao longo do seu percurso até ao ponto de entrega de Silveiro.

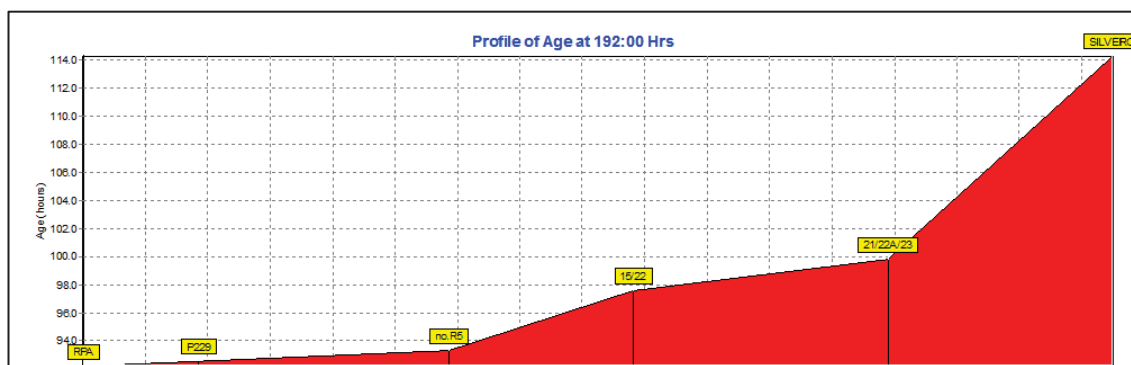


Figura 42: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até ao ponto de entrega de Silveiro.

Observa-se que a água demora cerca de um dia até atingir este ponto de entrega.

Por último, apresenta-se a evolução da idade da água até ao ponto de entrega mais afastado do RBeco, R4 – Vale Grande (figura 43).

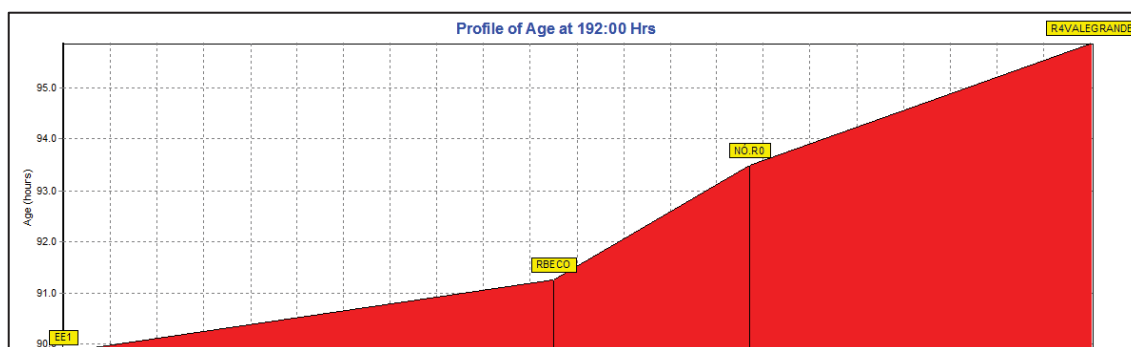


Figura 43: Perfil da idade da água (horas) ao longo das condutas até ao ponto de entrega do R4-Vale Grande.

Neste ponto a água é entregue com uma idade que ronda as 6 horas.

Tendo em conta as análises anteriores, é possível perceber que o tempo de retenção nos reservatórios é um fator importante para a qualidade da água, verificando-se em locais com consumo de água mais reduzido que este tem mais preponderância que o tempo de percurso. Desta forma, percebe-se a importância de ser possível modelar totalidade dos reservatórios associados aos pontos de entrega, de modo a se conseguir simular a idade da água na sua saída.

É possível, portanto, perceber que, a idade de água na saída varia em função do consumo, do planeamento e da operação do sistema, como por exemplo, a dimensão dos reservatórios. Tendo um consumo maior, a quantidade de tempo de retenção de uma parcela no sistema de distribuição é menor.

4. Análise da operação das bombas

No decorrer do estágio e desenvolvimento do modelo desconfiou-se que o sistema de telegestão apresentava algum desfasamento dos valores reais de caudal e pressão verificados à saída da estação elevatória EE1. Este poderá ter vários motivos, sendo o mais provável o facto dos aparelhos de medição – caudalímetros e pressostatos – e de transmissão da informação para a telegestão estarem sujeitos a algum desgaste e a avarias. Sentiu-se, portanto, a necessidade de verificar estas variáveis *in situ*.

Adicionalmente, duas das quatro bombas que compõem esta estação elevatória, EE1, possuem variadores de velocidade que geralmente funcionam abaixo da sua capacidade máxima e consequentemente bombeiam um caudal inferior ao seu máximo. Neste sentido procedeu-se, também, à aferição do caudal bombeado por estes grupos de bombagem na sua velocidade máxima, à frequência de 50 Hz.

Com o objetivo de conhecer as variáveis acima descritas foram, então, realizados diversos ensaios no terreno, com o auxílio dos operadores e responsável da ETA.

Os ensaios foram organizados de modo a que fosse possível averiguar as variáveis com o funcionamento das quatro bombas individualmente e também de várias combinações de duas e três bombas em simultâneo.

Como o funcionamento do sistema de bombagem está dependente dos níveis do RPA e do reservatório da EE2 houve a necessidade de operar as bombas de forma manual. Esta função esteve a cargo do operador da ETA, tendo em conta a sua experiência.

Nas figuras 44 são apresentados os locais onde se procedeu à leitura das variáveis e os aparelhos usados. Na primeira apresenta-se o local de medição de caudal, e na segunda o local de medição da pressão.



Figura 44: Pontos de medição de a) caudal e b) pressão.

Os resultados obtidos no 1º ensaio de medição, são apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Caudal e pressão medidos *in situ* e no sistema de telegestão.

Nº bombas em funcionamento	Medido <i>in situ</i>		Sistema de telegestão	
	Q (m³/h)	P (bar)	Q (m³/h)	P (bar)
0	0	7,8	0	-
1	765	8	720	7,7
2	1392	8,2	1375	8
3	1856	8,6	1800	8,2

Concluiu-se que, de facto, o sistema de telegestão apresenta algum desfasamento dos valores reais de caudal e pressão à saída da EE1. Consequentemente, foram usados os valores aferidos *in situ* para a calibração do modelo.

Capítulo VII – Discussão de cenários e conclusões

1. Cenários realizados

Aproveitando as diversas funcionalidades que o EPANET dispõe foram realizados alguns cenários. Nestes foi possível não só perceber o estado de algumas infraestruturas, como também prever o funcionamento do sistema com alterações correspondentes a situações críticas de fornecimento e de consumo de água.

1.1. Análise à capacidade de reserva dos reservatórios

No âmbito do processo de GPI da empresa foi efetuada uma análise da capacidade de reserva de água tratada nos reservatórios. Este exercício serve também como exemplo das capacidades de modelação mostrando que o EPANET é uma ferramenta com grande utilidade para entidades gestoras de serviços de distribuição de água, não só no processo GPI como em outros processos de gestão.










O indicador da capacidade de reserva de água nos reservatórios destina-se a avaliar o nível de garantia de continuidade de abastecimento pela entidade gestora em, no que respeita aos reservatórios e à existência de capacidade adequada de reserva de água tratada nestes. É definido como a autonomia de fornecimento de água tratada a partir dos reservatórios de adução e distribuição, conceito que se aplica a entidades gestoras de sistemas em alta, em baixa e mistos. (ERSAR & LNEC, 2009)

Segundo a ERSAR (2009), em sistemas adutores, este indicador está dependente do modo como a repartição de responsabilidades é contratualizada entre as entidades gestoras em alta e em baixa. A Águas do Vouga definiu os valores de referência da capacidade de reserva s em três categorias: mau, razoável e bom, em função do tempo que a capacidade da reserva permite manter o fornecimento de água. Na tabela seguinte são apresentadas as capacidades para cada um dos reservatórios geridos pela entidade.

A análise baseada nos volumes de água tratada armazenada em cada um dos reservatórios foi efetuada utilizando o EPANET. Foi estabelecido um cenário no qual se definiu como consumo-base dos pontos de consumo a jusante dos RNV, como sendo o dia em que se verificou o maior consumo global de água para o ano de 2017. O dia de maior consumo foi identificado como sendo 17 de junho.

Na tabela 16 são apresentados os resultados obtidos da análise à capacidade dos reservatórios.

Tabela 16: Capacidade de reserva de água tratada dos reservatórios pertencentes ao SRC, em horas.

Reservatório	Capacidade de reserva [horas]	Capacidade de reserva		
R1	 10,5	Mau		<16,8 horas, >48 horas
R2	 19	Razoável		16,8-28,8 horas
R3	 19,5	Bom		>28,8 horas
R4	 21,5			
R5	 48			
R6	 17			
R7	 15			
R8	 35			
R9	 27,5			
R10	 18			
R11	 31			
R12	 25,2			
R15	 25,8			
R16	 24			
R17	 13			
RGafanhas	 14,5			
RBeco	 47			

É possível verificar que a maioria dos reservatórios apresenta uma razoável capacidade de reserva. No entanto aferiu-se que os reservatórios R1, R7, R17 e RGafanhas não apresentam a capacidade de reserva mínima desejável para um reservatório de água tratada. Destes o R1 é aquele que requer maior atenção pois tem uma capacidade de reserva significativamente abaixo do limite do razoável.

No entanto, deve notar-se que em muitos destes locais a entidade gestora do sistema em baixa possui reservatórios, fornecendo capacidade de reserva extra, como acontece, por exemplo, em Macinhata do Vouga (R1), Aveiro (R6) e Gafanhas (RGafanhas). É, portanto, possível que reservatórios aqui identificados com pouca capacidade de reserva possam apresentar uma capacidade boa, quando considerados em conjunto com os reservatórios da AdRA que fornecem água às redes de distribuição.

1.2. Análise do desempenho hidráulico em cenários de aumento de consumo

Procedeu-se à construção e análise de cenários alternativos para o funcionamento do sistema poder vir a fornecer maior volume de água às redes de distribuição. Estes cenários foram realizados com o objetivo de encontrar uma solução viável de modo a ser possível aumentar o caudal de água elevado da ETA até ao RPA e deste modo perceber as melhores soluções para o aumento do consumo que se prevê no sistema.

No primeiro cenário realizado pretendeu-se analisar como seria afetado o comportamento do sistema caso fosse instalada uma bomba extra em cada uma das estações elevatórias EE1 e EE2.

Numa primeira abordagem assumiu-se que a bomba a adicionar é idêntica às bombas já existentes e foi, portanto, configurada no modelo com uma curva característica semelhante às restantes bombas, respetivamente para cada estação elevatória, como representa a figura 45. Para a realização deste cenário recorreu-se a uma simulação estática devido a não ser necessária a análise da distribuição temporal do caudal e pressão.

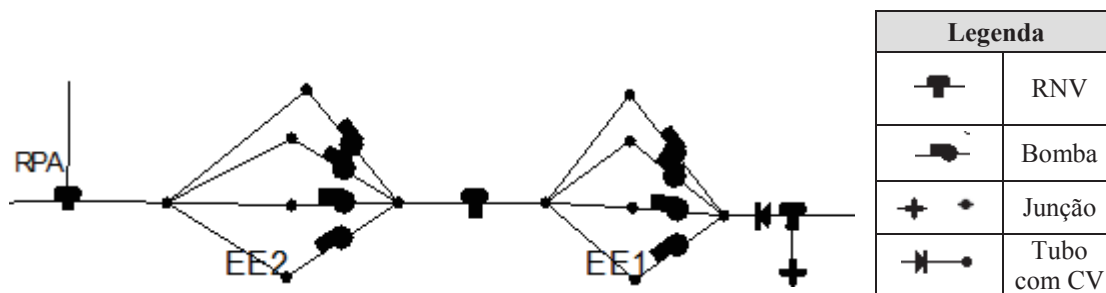


Figura 45: Representação do 1º cenário para a nova estação elevatória.

Na tabela seguinte (tabela 16) são apresentadas as variáveis operacionais resultantes da análise às duas estações elevatórias em função do número de bombas em funcionamento.

Tabela 17: Resultados obtidos no modelo para as alterações efetuadas no funcionamento da EE1 e EE2 – 1º cenário.

Nº Bombas	EE1			EE2		
	Caudal (m³/h)	Pressão (bar)	Velocidade (m/s)	Caudal (m³/h)	Pressão (bar)	Velocidade (m/s)
1	761,6	8,03	0,55	759,23	6,66	0,53
2	1418,6	8,48	1,02	1350,3	7,13	0,97
3	1896,5	8,88	1,37	1743,1	7,55	1,26
4	2259,3	9,29	1,63	2018,8	7,91	1,46

Através da análise dos resultados é possível observar que, como expectável, com o funcionamento de várias bombas em simultâneo, estas afastam-se do seu ponto de rendimento ótimo, ou seja, perdem eficiência. Verifica-se, então, uma diferença significativa no caudal elevado individualmente por cada bomba caso esta funcione singularmente ou em simultâneo com outras.

Tendo em conta que as condutas adutoras atuais têm um diâmetro interno de 700 milímetros, realizou-se uma simulação com o aumento do diâmetro, de modo a analisar o desempenho das estações quando operam as quatro bombas (tabela 18).

Tabela 18: Resultados obtidos com o aumento dos diâmetros internos das condutas das novas estações elevatórias.

Diâmetro	EE1			EE2		
	Caudal (m ³ /h)	Pressão (bar)	Velocidade (m/s)	Caudal (m ³ /h)	Pressão (bar)	Velocidade (m/s)
800	2572,9	8,82	1,42	2406,8	7,49	1,33
900	2774,8	8,49	1,21	2679	7,16	1,17
1000	2900,2	8,27	1,03	2857,8	6,92	1,01

É possível verificar que o caudal elevado pelas bombas aumenta, da mesma forma que a pressão. À saída diminui em resultado da diminuição das perdas de carga nas condutas. Percebe-se, portanto, que a eficiência das bombas aumenta. Havendo a convergência das duas soluções em cima descritas, pode representar uma solução o fim pretendido.

Na realização de um segundo cenário para o problema em questão, simulou-se o comportamento das estações elevatórias com a adição de uma estação elevatória, constituída por uma bomba, paralela aos sistemas já existentes, como representado na figura seguinte (figura 46). A bomba adicionada foi seleccionada para elevar um caudal de 200 m³/h.

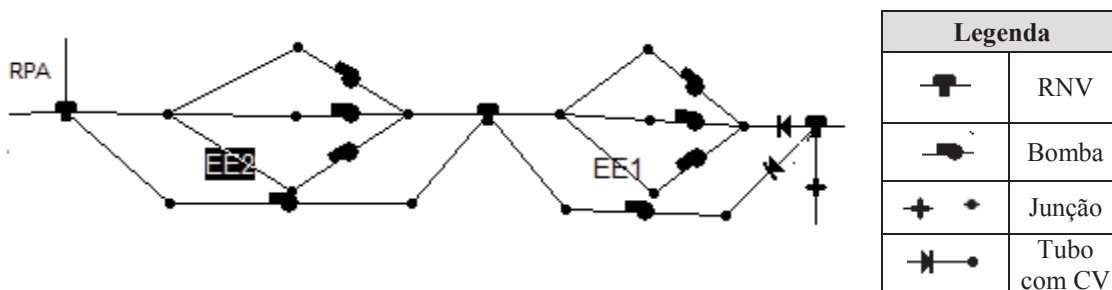


Figura 46: Representação do 2º cenário para a nova estação elevatória.

Na tabela seguinte (tabela 19) são apresentados os resultados obtidos para as principais variáveis operacionais.

Tabela 19: Resultados obtidos no modelo para as alterações efetuadas no funcionamento da EE1 e EE2 – 2º cenário.

Nº Bombas	EE1				EE2			
	Caudal (m ³ /h)	Caudal total (m ³ /h)	Pressão (bar)	Velocidade (m/s)	Caudal (m ³ /h)	Caudal total (m ³ /h)	Pressão (bar)	Velocidade (m/s)
3	1896,5	2091	8,89	1,37	1743,2	1934,1	7,55	1,26
1	194,5		8,06	0,43	190,9		6,65	0,42

Verifica-se que este cenário não apresenta a dificuldade encontrada no primeiro, a redução significativa da eficiência das bombas. Adicionalmente a instalação de uma conduta paralela aumenta a segurança do sistema elevatório. No entanto, este poderá ser mais difícil de aplicar no SRC, pois requer a utilização de mais recursos económicos e logísticos, dado que seria necessário a construção de duas novas estações elevatórias e de toda a conduta de transporte, paralela à existente. No primeiro cenário seria apenas necessário a adaptação de novas bombas às estações já existentes.

1.3. Análise da necessidade de recloração tendo por base a idade da água

Com os resultados de qualidade da água fornecidos pelo modelo, foi possível analisar a necessidade de recloração ao longo do sistema. O parâmetro de qualidade analisado foi a idade da água.

Um elevado tempo de retenção de água no sistema pode provocar a deterioração da sua qualidade, nomeadamente, a nível químico, com o decaimento de desinfetante e a formação de subprodutos, biológico, com a biodegradação dos subprodutos de desinfecção, ou físicos, como com o ganho de cor e o aumento da temperatura (EPA, 2002). Neste sentido é interessante a realização de um exercício de correlação entre a idade da água e a necessidade de recloração, que advém do decaimento do cloro ao longo do tempo, nos pontos de entrega e de consumo analisados nos resultados. No SRC, a recloração é realizada com a injeção de hipoclorito de sódio (NaClO) diretamente na conduta.

A existência de tanques de recloração foi verificada em todos os reservatórios analisados. Observou-se que desde a entrada da água no sistema até à sua distribuição nos reservatórios, a água permanece pelo menos um dia no sistema, percebendo-se assim a necessidade de injeção de desinfetante nestes locais. A única exceção verificada foi o R6. No entanto, o R6 abastece diversos reservatórios de distribuição localizados a jusante na rede. Por este motivo, embora não haja recloração no local, é possível que esta aconteça em pontos a jusante.

Nos pontos de entrega na entrada de reservatórios foi possível verificar, também, a existência de tanques de recloração em todos os pontos analisados. Como apenas foi possível simular a idade da água na entrada do reservatório, não se consegue ter ideia da idade da água aquando da sua distribuição.

De um modo geral, a recloração é efetuada em muitos dos pontos de entrega e reservatórios a cargo da Águas do Vouga. Embora esta possa não ser necessária em alguns locais, a entidade pauta-se pelo princípio da precaução, sendo que o sistema de telegestão permite a monitorização da concentração de desinfetante em tempo real, pelo que a recloração pode ser ativada ou desativada

consoante a necessidade verificada no momento. Salienta-se, ainda, a cooperação e comunicação entre as duas entidades gestoras de toda a distribuição da região, de modo a que caso seja necessário se procedam ajustes na desinfeção garantindo que a água seja sempre fornecida às populações com qualidade, sem risco para os consumidores.

2. Conclusão

A modelação de sistemas de abastecimento de água às redes municipais é cada vez mais importante para as empresas gestoras destes sistemas. As conhecidas funcionalidades e potencialidades deste tipo de *softwares* são uma enorme mais-valia na gestão, na manutenção e no planeamento da renovação e expansão de sistemas de abastecimento. Neste sentido, o estágio curricular decorrido na empresa Águas do Vouga, S.A., passou pelo desenvolvimento e aplicação de um modelo ao sistema de distribuição em alta da região de Aveiro, o SRC. Pretende-se que este seja uma ferramenta de apoio ao processo da GPI, em projetos de reabilitação e em projeções de cenários futuros para a entidade.

Durante a construção do modelo foram encontradas algumas lacunas na informação acerca do sistema em estudo. Estas podem trazer limitações na obtenção de um modelo que consiga reproduzir de forma fiável o sistema, no entanto, com o auxílio dos colaboradores conseguiu-se superar estas dificuldades e produzir a maior parte informação em falta. Verificou-se, então, que é benéfico se o processo de construção do modelo for realizado com participação ativa dos colaboradores. Não foi possível, porém, evitar faltas de dados de caudal e de pressão para os locais onde o sistema de telegestão não monitoriza e regista os dados, quer por opção da entidade quer por avaria de equipamentos. Estas dificuldades foram reportadas à empresa para possível ação futura.

O trabalho desenvolvido permitiu dar resposta ao primeiro objetivo proposto inicialmente. Conseguiu-se aplicar o EPANET ao SRC, operacionalizá-lo e realizar a sua calibração quase a 100%. Apesar de não ter sido possível realizar a calibração do modelo na sua totalidade, este consegue representar e simular o sistema com segurança e fiabilidade. Deve-se salientar que, mesmo não calibrados, estes modelos reúnem um conjunto diverso de informação, que dificilmente seria compilada noutro contexto e que se torna de fácil consulta, sendo esta uma grande motivação para o desenvolvimento deste tipo de modelos.

No processo de calibração e verificação do modelo para o SRC, verificou-se grande sensibilidade à combinação entre a atribuição de valores para coeficientes de perda de carga, a definição de rotinas para controlo de bombas e válvulas e os resultados obtidos nas simulações para as variações de caudal e de pressão. Foram frequentes as condições que levam a ocorrer instabilidades e erros no

cálculo com o modelo. Para minimizar estas dificuldades sugere-se a simplificação do modelo por divisão em modelos para partes relativamente independentes do SRC.

No sentido de perceber possíveis ganhos de eficiência no sistema foram analisados alguns indicadores de desempenho hidráulico, nomeadamente, os indicadores de caudal, pressão, perda de carga e velocidade. A simulação permitiu demonstrar um sistema com um bom funcionamento, dado que é capaz de dar respostas às necessidades ao longo da semana. Neste sentido não foi possível identificar possíveis ganhos de eficiência significativos, relativamente aos caudais que podem ser fornecidos. Contudo verificou-se que transitoriamente estão disponíveis pressões em alguns pontos de entrega que podem vir a permitir reduzir custos de bombagem.

No que diz respeito à avaliação de qualidade da água o indicador analisado foi a idade da água. Foi possível a identificação de alguns pontos mais críticos onde posteriormente se verificou a existência de recloração. Concluiu-se, ainda, que na maioria dos casos, o fator que mais influencia este indicador é o tempo de retenção nos reservatórios. A mesma análise foi efetuada para os pontos de entrega, no entanto, para se ter uma real perceção da idade da água aquando da distribuição teria que ser possível a modelação dos respetivos reservatórios.

Em virtude da experiência obtida ao longo do processo de construção do modelo foi possível perceber que a aplicação destes a sistemas de distribuição de água acarreta, também, a vantagem de levar à necessidade de realização de levantamentos e inventariação de muita informação distinta. Desta forma é possível perceber lacunas e falhas na informação documentada junto das entidades e proceder à sua produção caso seja necessário, como aconteceu no presente estudo. Este tipo de exercício permite, ainda, aos utilizadores ganharem uma sensibilidade e perceção aprofundada do funcionamento e operação de todo o sistema, possibilitando conhecer quais os fatores operacionais mais críticos ao bom funcionamento do sistema, sendo um bom exercício de verificação da operacionalidade do sistema e de aprendizagem para novos colaboradores das equipas.

Ao longo do estágio foi possível ter contacto e participar na gestão, operação e manutenção de um sistema de distribuição de água. A saída em rotinas de manutenção de válvulas permitiu observar e entender melhor alguns equipamentos hidráulicos, permitindo ainda a realização de ensaios no terreno. A verificação de caudas de bombagem efetuada na ETA possibilitou também ganhar algum conhecimento adicional acerca dos grupos de bombagem. O contacto, vivido de perto, com a gestão deste sistema viabilizou grande proveito ao nível do conhecimento desta atividade profissional, na medida em que foi possível a aplicação de conceitos teóricos que foram lecionados em meio académico, na prática. Em suma, a realização do estágio foi extremamente importante na medida em que contribuiu para o crescimento pessoal e profissional do estudante de Engenharia do Ambiente que o realizou.

Bibliografia

- Águas do Vouga S.A. (2013a). Águas do Vouga. A empresa: Accionistas. Retrieved January 5, 2018, from <http://www.aguasdovouga.com/pages/1-accionistas?locale=pt>
- Águas do Vouga S.A. (2013b). Águas do Vouga. A empresa: Concessão. Retrieved January 5, 2018, from <http://www.aguasdovouga.com/pages/3-concessao?locale=pt>
- Águas do Vouga S.A. (2013c). Águas do Vouga. A empresa: Missão. Retrieved May 1, 2018, from <http://www.aguasdovouga.com/pages/2-missao?locale=pt>
- Águas do Vouga S.A. (2013d). Águas do Vouga. A empresa. Retrieved May 1, 2018, from <http://www.aguasdovouga.com/pages/25-a-empresa?locale=pt>
- Alegre, H., & Botelho, S. T. (2012). Chapter 3: Infrastructure Asset Management of Urban Water Systems. In A. Ostfeld (Ed.), *Water Supply System Analysis - Selected Topics*. InTech. <https://doi.org/10.5772/2882>
- Alegre, H., & Covas, D. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água. Uma abordagem centrada na reabilitação. Série Guias Técnicos nº 16*. <https://doi.org/304814/10>
- Alves, Z., Muranho, J., Albuquerque, T., & Ferreira, A. (2014). Water Distribution Network's Modeling and Calibration. A Case Study based on Scarce Inventory Data. *Procedia Engineering*, 70, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.005>
- Aquapor Serviços S.A. (2013). Aquapor Serviços S.A. Retrieved December 27, 2017, from <https://www.aquaporservicos.pt/?locale=pt>
- Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga. (2017). Associação de Municípios do Carvoeiro - Vouga: Resumo histórico. Retrieved December 27, 2017, from <http://amcv.pt/associacao/resumo-historico/>
- Camacho, A., & Oliveira, F. (2011). O sistema de gestão da qualidade da águas do Vouga, 1–8. Retrieved from <http://www.aquaporservicos.pt/uploads/attachments/296/osistemadegestaodaqualidadedaaguasdovouga.pdf>
- Camacho, A., & Sousa, R. (2002). *Aplicação de um modelo hidráulico e de reação química (EPANET) ao Sistema Regional do Carvoeiro*. Relatório de projeto de Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Coelho, S. T., Loureiro, D., & Alegre, H. (2006). *Modelação E Análise De Sistemas De Abastecimento De Água. Série Guias Técnicos nº 4*, ERSAR & LNEC
- EPA. (2002). Effects of Water Age on Distribution System Water Quality. *Office of Ground Water and Drinking Water, Standards and Risk Management Division*, Washington DC, 1–17.
- ERSAR, & LNEC. (2009). *Sistema de avaliação da qualidade dos serviços de águas e resíduos prestados aos utilizadores. Série de Guias Técnicos nº 12*
- ERSAR, & LNEC. (2017). *Desenvolvimento e implementação de processos de gestão patrimonial de infraestruturas. Série Guias Técnicos nº 21*.
- Loucks, D. P., & van Beek, E. (2017). *Water Resource Systems Planning and Management*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44234-1>

- Marques, J. A. A. de S., & Sousa, J. J. de O. (2006). *Hidráulica Urbana, Sistemas de Abastecimento de Água*. (I. da U. de Coimbra, Ed.). Coimbra.
- Oliveira, F. (1985). O Sistema Regional do Carvoeiro. *Jornadas Da Ria de Aveiro - Ordenamento Da Ria de Aveiro*, (1), 154-164.
- Oyelowo, A. E. A. and M. A. (2013). An EPANET Analysis of Water Distribution Network of the University of Lagos, Nigeria. *Journal of Engineering Research*, 18(2), 69–83.
- Rossman, L. (1999). COMPUTER MODELS/EPANET. In *Water Distribution Systems Handbook*. New York: McGraw-Hill Companies. Retrieved from https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?dirEntryID=65846
- Rossman, L. (2000). EPANET 2: users manual. *Cincinnati US Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory*, 38(September), 200. <https://doi.org/10.1177/0306312708089715>
- UNESCO. (2012). *Managing Water under Uncertainty and Risk*. *UN Water Reports* (Vol. 1). Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf>
- Walski, T., Chase, D., Savic, D., Grayman, W., Beckwith, S., & Koelle, E. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*, 800. Retrieved from http://ecommons.udayton.edu/cee_fac_pub
- Wessex Institute. (2012). Wessex Institute. 1st International Conference on the Design, Construction, Maintenance, Monitoring and Control of Urban Water Systems. Retrieved January 8, 2018, from <http://www.wessex.ac.uk/conferences/2012/urban-water-2012>

Anexo I – Condutas do SRC I

Tabela 20: Condutas pertencentes ao SRC I.

Designação/ Sistema	Caracterização das condutas do SRC I			
	Elevatória (E) ou Gravítica (G)	Extensão (m)	Diâmetro Nominal (mm)	Material das condutas
Poço 1 - Nó Poço 1	E	2	450	FF
Nó Poço 1 - ETA/EE1	E	450	450	FF
Poço 2 - Nó Poço 2	E	2	450	FF
Nó Poço 2 - ETA/EE1	E	400	450	FF
FURO 1 - Nó Poço 1	E	35	200	AÇO
FURO 3 - Nó Poço 2	E	13	250	AÇO
FURO 4 - Nó Poço 2	E	13	250	AÇO
FURO 5 - Nó Poço 1	E	13	250	AÇO
FURO 6 - Nó Poço 1	E	13	250	AÇO
FURO 7 - Nó Poço 2	E		250	AÇO
FURO 8 - Nó Poço 2	E		250	AÇO
FURO 9 - Nó Poço 1	E		250	AÇO
ETA/EE1 - R1	E	5.310	160	PVC
ETA/EE1 - R16	E	1.249	63	PVC
ETA/EE1 - EE2	E	2.472	700	FF
EE2 - RPA	E	4.765	700	FF
RPA - R2	G	35	200	AÇO
RPA - R4	E	4.438	160	PVC
RPA - Nó P229	G	1.887	700	FF
Nó P229 - Nó R3	G	90	600	FF
Nó R3 - R3	G	3.574	125	PVC
Nó R3 - Nó R5	G	5.220	600	FF
Nó R5 - R5	G	144	90	PVC
Nó R5 - Nó R6/R7	G	13.469	600	FF

Tabela 21: Condutas pertencentes ao SRC I (continuação).

Designação / Sistema	Caracterização das condutas do SRC I			
	Elevatória (E)	Extensão	Diâmetro	Material
	ou Gravítica (G)	(m)	Nominal (mm)	das condutas
Nó R6/R7 - Nó R6	G	680	500	FF
Nó R6 - R6	G			
Nó P229 - Nó R8	G	3.320	400	FF
Nó R8 - R8	G	1.475	90	PVC
Nó R8 - Nó R9	G	5.616	400	FF
Nó R10/R11 - Nó R11	G	7.250	250	PVC
Nó R11 - Nó R11/OVAR	G	2.000	200	PVC
Nó R11/OVAR - R11	G	400	200	PVC
Nó R11/OVAR - OVAR	G	594	200	PVC
Nó R10/R11/RTorreira - Nó R12	G	4.028	300	FF
	G	3.576	250	FC
Nó R12/R15 - R12	G	50	200	FC
Nó R12/R15 - Nó R15	G	9.475	200/ 250/ 160	Fibrocimento DN200 Classe 24/ PVC DN250 (Ponte Varela- Torreira)/ PEAD DN160 e PEAD DN200 (Ponte Varela)
Nó R15 - R15	G	10	200	FC
Nó R15 - R17	G	12.000	200	PVC

Anexo II – Condutas do SRC II

Tabela 22: Condutas pertencentes ao SRC II.

Designação / Sistema	Caracterização das condutas do SRC II			
	Elevatória (E) ou Gravítica (G)	Extensão (m)	Diâmetro Nominal (mm)	Material das Condutas
FURO 2 - Nó Poço 2	E	25	250	PEAD DN280 PN10
FURO 10 - Nó Poço 1	E		250	PEAD DN280 PN10
FURO 11 - Nó Poço 2	E		250	PEAD DN280 PN10
EE Superficial - ETA SRC II	E		560	PEAD DN560 PN10
ETA/EE1 - RBECO	E	2.470	300	FFD DN300
		105	355	PEAD - DN355 PN 20
		916	355	PEAD-DN355 PN10
EE À-DOS-FERREIROS - R À-DOS-FERREIROS	E	1.100	160	FFD DN160
		2.000	180	PEAD-DN180 PN16
		3.108	180	PEAD-DN180 PN10
Bypass Troço 12A SRC II	G	4.578	400	FFD DN400
NÓ R6/R7 - 15 R I	G	900	250	PRV DN250
15R I - NÓ 15/15R/15B	G	2.093	280	PEAD-DN280 PN 16
		4.534	280	PEAD-DN280 PN10
		19	315	PEAD-DN315 PN16
NÓ 15/15R/15B - R7	G		250	PRV DN250
NÓ R6 - NÓ 15/22	G	3.086	500	FFD DN500
NÓ 15/22 - NÓ 15/15R/15B	G		250	PRV DN250
NÓ 15/15R/15B - R GAFANHAS	G	52	300	FFD DN300
		6.139	315	PEAD-DN315 PN10
Nó P229 - Nó R8	G	1.745	350	FFD DN350
Nó R8 - Nó R9	G	6.076	350	FFD DN350
Nó R9 - R9	G	113	140	PEAD DN140 PN10

Tabela 23: Condutas pertencentes ao SRC II (continuação).

Designação / Sistema	Caracterização das condutas do SRC II			
	Elevatória (E) ou Gravítica (G)	Extensão (m)	Diâmetro Nominal (mm)	Material das Condutas
Nó R9 - Nó R10/R11/RTorreira	G	56	300	FFD DN300
		811	400	FFD DN400
		239	250	FFD DN250
		28	300	FFD DN300
		2.812	400	FFD DN400
Nó R10/R11/RTorreira - Nó R10/R11	G	212	280	PEAD DN280 PN16
NÓ R10/R11 - R10	G	2.050	140	PEAD-DN140- PN16
		1.205	140	PEAD-DN140- PN10
NÓ R10/R11/RTORREIRA - ZI Estarreja	G	1.965	250	FFD 250
RBECO - NÓ ETA/EE1-R1	G	4.210	400	FFD DN400
NÓ ETA/EE1-R1 - NÓ EE Á-DOS-FERREIROS	G	761	400	FFD DN400
NÓ EE Á-DOS- FERREIROS - EE Á-DOS- FERREIROS	G	1.100	160	FFD DN160 Blutop
		2.000	180	PEAD DN180 PN16
		3.108	180	PEAD DN180 PN10
NÓ EE Á-DOS- FERREIROS - NÓ R0	G	5.249	350	FFD DN350
NÓ R0 - R0-CENTRO DE SAÚDE	G	1.230	200	PEAD DN200 PN10
NÓ R0 - NÓ R1	G	336	315	PEAD DN315 PN10
NÓ R1 - R1-CORTAL	G	46	180	PEAD DN180 PN10
NÓ R1 - NÓ RRA	G	1.200	250	FFD DN250
		1.483	315	PEAD DN315 PN10

Tabela 24: Condutas pertencentes ao SRC II (continuação).

Designação / Sistema	Caracterização das condutas do SRC II			
	Elevatória (E) ou Gravítica (G)	Extensão (m)	Diâmetro Nominal (mm)	Material das Condutas
NÓ RRA - RRA RECARDÃES	G		315	PEAD DN315 PN10
NÓ RRA - NÓ R4	G	477	225	PEAD DN225 PN10
		3.602	280	PEAD DN280 PN10
NÓ R4 - R4-VALE GRANDE	G	84	180	PEAD DN180 PN10
NÓ 15/22 - NÓ 21/22A/23	G	3.297	400	FFD DN400
NÓ 21/22A/23 - NÓ 19/20/21	G	3.645	350	FFD DN350 Von Roll
NÓ 19/20/21 - NÓ 20/20A	G	1.180	160	PEAD DN160 PN16
NÓ 20/20A - R ZI OIÃ	G		160	PEAD DN160 PN16
NÓ 20/20A - R FERMENTELOS	G	4.214	160	PEAD DN160 PN16
NÓ 19/20/21 - NÓ R OIÃ ELEVADO	G	2.647	350	FFD DN350 Von Roll
NÓ R OIÃ ELEVADO - NÓ 16/17/19	G	2.130	350	FFD DN350 Von Roll
NÓ R OIÃ ELEVADO - R OIÃ ELEVADO	G	253	225	PEAD DN225 PN16
NÓ 16/17/19-SILVEIRO	G	261	350	FFD DN350
NÓ 21/22A/23 - NÓ 23/24/25	G	5.880	315	PEAD DN 315 PN10
NÓ 23/24/25 - R PALHAÇA	G	70	90	PEAD DN90 PN10
NÓ 23/24/25 - NÓ 25/26/29	G	645	315	PEAD DN315 PN10
NÓ 25/26/29 - NÓ 26/27/28	G	3.004	180	PEAD DN180 PN10
NÓ 26/27/28 - R BUSTOS	G	360	90	PEAD DN90 PN10
NÓ 26/27/28 - R MAMARROSA	G	2.331	110	PEAD DN110 PN10
NÓ 25/26/29 - NÓ LAVANDEIRA	G	4.611	315	PEAD DN315 PN10
NÓ LAVANDEIRA - LAVANDEIRA	G	556	125	PEAD DN125 PN10

Tabela 25: Condutas pertencentes ao SRC II (continuação).

Designação / Sistema	Caracterização das condutas do SRC II			
	Elevatória (E) ou Gravítica (G)	Extensão (m)	Diâmetro Nominal (mm)	Material das Condutas
NÓ LAVANDEIRA - NÓ 29/31/32	G	678	280	PEAD DN280 PN10
NÓ 29/31/32 - SANTO ANTÓNIO	G	239	180	PEAD DN 180 PN10
		107	150	FFD DN150
		3.461	200	PEAD DN200 PN16
NÓ 29/31/32 - ERVEDAL	G	1.801	140	PEAD DN140 PN10
		572	140	PEAD DN140 PN16
		785	125	PEAD DN 125 PN10
NÓ 15/15R/15B - R7	G	200	250	FFD 250
Nó R5 - Inicio conduta bypass troço 12 A SRC II	G	1.448	600	FFD DN600

Anexo III – Dados de verificação de calibração do modelo

Tabela 26: Dados de verificação de calibração em função do nível de água nos reservatórios R1, R2, R4, R8, R9 e R11.

Hora	Nível de água no R1 [m]			Nível de água no R2 [m]			Nível de água no R4 [m]			Nível de água no R8 [m]			Nível de água no R9 [m]			Nível de água no R11 [m]		
	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro
00:00	2,67	2,67	0%	2,12	2,17	2%	2,63	2,87	8%	2,55	2,51	2%	2,90	2,73	6%	2,61	2,63	1%
00:24	2,76	2,84	3%	2,14	2,20	3%	2,67	2,90	8%	2,60	2,49	4%	2,88	2,70	7%	2,57	2,59	1%
00:48	3,34	3,33	0%	2,15	2,22	3%	2,71	2,94	8%	2,67	2,47	8%	2,88	2,67	8%	2,53	2,56	1%
01:12	3,43	3,40	1%	2,16	2,23	3%	2,75	2,98	8%	2,70	2,45	10%	2,88	2,66	8%	2,48	2,53	2%
01:36	3,33	3,20	4%	2,17	2,25	4%	2,79	3,02	8%	2,69	2,44	10%	2,88	2,65	9%	2,45	2,49	2%
02:00	3,23	3,07	5%	2,18	2,27	4%	2,83	3,06	8%	2,68	2,42	11%	2,88	2,65	9%	2,41	2,46	2%
02:24	3,14	2,99	5%	2,19	2,29	4%	2,87	3,11	8%	2,67	2,41	11%	2,88	2,64	9%	2,49	2,56	3%
02:48	3,05	2,93	4%	2,19	2,31	5%	2,90	3,15	8%	2,65	2,39	11%	2,88	2,64	9%	2,62	2,73	4%
03:12	2,96	2,85	4%	2,20	2,32	5%	2,94	3,18	8%	2,64	2,38	11%	2,88	2,63	10%	2,75	2,71	1%
03:36	2,87	2,75	4%	2,21	2,35	6%	2,98	3,23	8%	2,63	2,35	12%	2,88	2,63	10%	2,71	2,68	1%
04:00	2,78	2,71	3%	2,22	2,35	6%	3,03	3,26	7%	2,63	2,33	13%	2,88	2,62	10%	2,68	2,65	1%
04:24	2,69	2,64	2%	2,22	2,36	6%	3,08	3,26	6%	2,63	2,31	14%	2,88	2,62	10%	2,64	2,61	1%
04:48	2,63	2,85	8%	2,22	2,38	7%	3,12	3,28	5%	2,62	2,30	14%	2,88	2,61	10%	2,61	2,58	1%
05:12	3,26	3,34	2%	2,22	2,39	7%	3,14	3,27	4%	2,62	2,33	12%	2,85	2,61	9%	2,57	2,55	1%
05:36	3,45	3,34	3%	2,22	2,41	8%	3,14	3,27	4%	2,68	2,41	11%	2,92	2,68	9%	2,54	2,52	1%
06:00	3,36	3,18	6%	2,21	2,41	8%	3,13	3,27	4%	2,70	2,48	9%	3,00	2,83	6%	2,50	2,49	0%
06:24	3,27	3,08	6%	2,21	2,41	8%	3,12	3,27	5%	2,70	2,56	5%	2,97	2,96	0%	2,46	2,46	0%
06:48	3,18	3,00	6%	2,21	2,41	8%	3,13	3,28	5%	2,69	2,63	2%	2,97	2,99	1%	2,43	2,40	1%
07:12	3,08	2,92	5%	2,20	2,41	9%	3,13	3,28	5%	2,68	2,69	0%	2,96	2,98	1%	2,44	2,48	2%
07:36	2,92	2,83	3%	2,19	2,39	8%	3,12	3,29	5%	2,67	2,68	0%	2,94	2,97	1%	2,64	2,53	4%
08:00	2,86	2,75	4%	2,19	2,38	8%	3,11	3,29	5%	2,65	2,66	0%	2,92	2,94	1%	2,70	2,67	1%

Tabela 27: Dados de verificação de calibração em função do nível de água nos reservatórios R1, R2, R4, R8, R9 e R11 (continuação).

Hora	Nível de água no R1 [m]			Nível de água no R2 [m]			Altura de água no R4 [m]			Nível de água no R8 [m]			Nível de água no R9 [m]			Nível de água no R11 [m]		
	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro
08:24	2,70	2,66	2%	2,18	2,35	7%	3,07	3,28	6%	2,63	2,63	0%	2,90	2,91	0%	2,73	2,74	0%
08:48	2,64	2,81	6%	2,16	2,32	7%	3,04	3,26	7%	2,60	2,59	0%	2,86	2,88	1%	2,67	2,70	1%
09:12	2,99	3,33	10%	2,14	2,29	7%	2,99	3,23	7%	2,57	2,55	1%	2,83	2,83	0%	2,62	2,66	2%
09:36	3,49	3,45	1%	2,12	2,27	7%	2,95	3,20	8%	2,55	2,50	2%	2,79	2,77	1%	2,57	2,61	2%
10:00	3,34	3,22	4%	2,11	2,23	5%	2,90	3,17	9%	2,52	2,46	2%	2,74	2,70	1%	2,52	2,57	2%
10:24	3,19	3,04	5%	2,10	2,20	5%	2,85	3,14	9%	2,49	2,41	3%	2,70	2,63	3%	2,45	2,53	3%
10:48	3,04	2,90	5%	2,08	2,18	5%	2,82	3,11	9%	2,44	2,37	3%	2,65	2,56	4%	2,40	2,48	3%
11:12	2,88	2,77	4%	2,07	2,15	4%	2,77	3,08	10%	2,41	2,49	3%	2,61	2,32	13%	2,50	2,44	2%
11:36	2,71	2,64	3%	2,07	2,13	3%	2,73	3,05	10%	2,36	2,31	2%	2,56	2,43	5%	2,59	2,43	7%
12:00	2,80	2,97	6%	2,06	2,11	2%	2,68	3,01	11%	2,33	2,34	0%	2,46	2,44	1%	2,63	2,54	4%
12:24	3,26	3,38	4%	2,06	2,11	2%	2,62	2,97	12%	2,31	2,38	3%	2,49	2,53	2%	2,74	2,65	3%
12:48	3,43	3,48	1%	2,06	2,08	1%	2,56	2,93	13%	2,34	2,41	3%	2,54	2,62	3%	2,71	2,73	1%
13:12	3,26	3,25	0%	2,05	2,08	1%	2,54	2,89	12%	2,38	2,44	2%	2,58	2,71	5%	2,66	2,70	1%
13:36	3,09	3,05	1%	2,05	2,08	1%	2,50	2,86	13%	2,42	2,48	2%	2,63	2,79	6%	2,61	2,66	2%
14:00	2,93	2,88	2%	2,04	2,07	1%	2,45	2,82	13%	2,46	2,52	2%	2,71	2,88	6%	2,59	2,62	1%
14:24	2,75	2,72	1%	2,04	2,06	1%	2,40	2,79	14%	2,50	2,57	3%	2,77	2,96	6%	2,52	2,58	2%
14:48	2,68	2,72	1%	2,04	2,08	2%	2,35	2,76	15%	2,53	2,61	3%	2,83	2,99	5%	2,50	2,54	2%
15:12	3,17	3,19	1%	2,04	2,08	2%	2,33	2,72	14%	2,56	2,65	3%	2,93	2,93	0%	2,45	2,50	2%
15:36	3,46	3,46	0%	2,05	2,08	1%	2,32	2,69	14%	2,60	2,69	3%	2,99	2,88	4%	2,42	2,45	1%
16:00	3,30	3,35	1%	2,05	2,08	1%	2,33	2,65	12%	2,65	2,83	6%	2,96	2,67	11%	2,52	2,41	5%
16:24	3,15	3,11	1%	2,06	2,08	1%	2,33	2,62	11%	2,69	2,61	3%	2,93	2,78	5%	2,64	2,48	6%
16:48	3,00	2,95	2%	2,05	2,08	1%	2,32	2,59	10%	2,68	2,57	4%	2,90	2,73	6%	2,73	2,59	5%
17:12	2,84	2,82	1%	2,05	2,08	1%	2,32	2,56	9%	2,65	2,53	5%	2,87	2,69	7%	2,72	2,70	1%

Tabela 28: Dados de verificação de calibração em função do nível de água nos reservatórios R1, R2, R4, R8, R9 e R11 (continuação).

Hora	Nível de água no R1 [m]			Nível de água no R2 [m]			Altura de água no R4 [m]			Nível de água no R8 [m]			Nível de água no R9 [m]			Nível de água no R11 [m]		
	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro
17:36	2,69	2,69	0%	2,06	2,08	1%	2,30	2,57	11%	2,62	2,48	6%	2,84	2,63	8%	2,68	2,74	2%
18:00	2,78	2,77	0%	2,06	2,08	1%	2,28	2,58	12%	2,58	2,42	7%	2,80	2,59	8%	2,62	2,70	3%
18:24	3,23	3,24	0%	2,06	2,08	1%	2,28	2,59	12%	2,54	2,37	7%	2,77	2,54	9%	2,56	2,66	4%
18:48	3,46	3,48	1%	2,06	2,08	1%	2,27	2,59	12%	2,50	2,32	8%	2,74	2,49	10%	2,52	2,62	4%
19:12	3,31	3,29	1%	2,06	2,08	1%	2,23	2,59	14%	2,57	2,32	11%	2,70	2,43	11%	2,47	2,58	4%
19:36	3,17	3,09	3%	2,06	2,08	1%	2,21	2,58	14%	2,43	2,36	3%	2,57	2,43	6%	2,42	2,55	5%
20:00	3,03	2,96	2%	2,05	2,07	1%	2,19	2,57	15%	2,39	2,40	0%	2,48	2,53	2%	2,46	2,51	2%
20:24	2,88	2,83	2%	2,05	2,05	0%	2,19	2,57	15%	2,36	2,45	4%	2,46	2,63	6%	2,57	2,48	4%
20:48	2,73	2,71	1%	2,05	2,06	0%	2,21	2,58	14%	2,33	2,49	6%	2,51	2,71	7%	2,69	2,44	10%
21:12	2,67	2,74	3%	2,06	2,08	1%	2,22	2,59	14%	2,31	2,54	9%	2,57	2,81	9%	2,73	2,41	13%
21:36	3,17	3,25	2%	2,07	2,08	0%	2,24	2,62	15%	2,35	2,58	9%	2,64	2,91	9%	2,69	2,49	8%
22:00	3,46	3,47	0%	2,08	2,10	1%	2,25	2,64	15%	2,39	2,63	9%	2,75	2,99	8%	2,64	2,65	0%
22:24	3,32	3,27	2%	2,10	2,11	0%	2,28	2,67	15%	2,44	2,68	9%	2,87	2,96	3%	2,60	2,74	5%
22:48	3,18	3,08	3%	2,11	2,14	1%	2,30	2,70	15%	2,39	2,68	11%	3,00	2,94	2%	2,57	2,71	5%
23:12	3,06	2,95	4%	2,12	2,16	2%	2,32	2,72	15%	2,53	2,65	5%	2,99	2,92	2%	2,52	2,67	6%
23:36	2,94	2,85	3%	2,13	2,17	2%	2,34	2,75	15%	2,59	2,63	2%	2,97	2,90	2%	2,49	2,64	6%
Erro > 20%	0			0			0			0			0			0		

Tabela 29: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R3, R5, R7 e R10.

Hora	Pressão [bar] R3			Pressão [bar] R5			Pressão [bar] R7			Pressão [bar] R10		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
00:00	0,80	1,75	0,95	0,65	6,70	6,05	6,65	6,51	0,14	4,32	4,75	0,43
00:24	4,03	4,28	0,25	0,66	5,28	4,62	6,73	6,63	0,10	4,40	4,89	0,49
00:48	4,03	4,33	0,30	0,69	5,05	4,36	6,85	6,76	0,09	4,56	5,01	0,45
01:12	0,79	5,06	4,27	6,49	5,73	0,76	6,95	6,84	0,11	4,62	4,88	0,26
01:36	0,80	0,93	0,13	6,52	6,69	0,17	7,02	6,88	0,14	4,75	5,39	0,64
02:00	0,81	0,81	0,00	6,54	6,80	0,26	7,16	6,93	0,23	4,58	5,59	1,01
02:24	0,81	0,97	0,16	6,56	6,85	0,29	7,24	6,95	0,29	5,39	5,57	0,18
02:48	4,03	4,03	0,00	6,61	6,03	0,58	7,26	6,97	0,29	5,46	5,76	0,30
03:12	4,04	4,95	0,91	6,62	6,91	0,29	6,42	6,17	0,25	5,52	5,93	0,41
03:36	4,03	4,45	0,42	6,43	6,88	0,45	6,43	5,97	0,46	5,66	5,94	0,28
04:00	4,03	4,44	0,41	6,43	6,86	0,43	6,46	5,98	0,48	5,70	6,07	0,37
04:24	4,03	4,45	0,42	6,49	6,93	0,44	6,46	5,95	0,51	5,73	6,12	0,39
04:48	4,03	4,48	0,45	6,50	6,95	0,45	6,46	5,95	0,51	5,83	6,16	0,33
05:12	4,03	4,61	0,58	6,41	7,03	0,62	6,46	7,02	0,56	5,92	6,18	0,26
05:36	4,03	4,63	0,60	6,54	6,95	0,41	7,30	7,01	0,29	6,09	5,95	0,14
06:00	4,04	4,57	0,53	6,58	6,94	0,36	7,30	7,01	0,29	6,29	5,91	0,38
06:24	4,04	4,47	0,43	6,58	6,88	0,30	7,30	7,02	0,28	6,40	5,90	0,50
06:48	4,04	4,43	0,39	6,59	6,78	0,19	7,30	7,01	0,29	6,22	5,73	0,49
07:12	4,04	4,54	0,50	6,57	6,82	0,25	7,30	7,01	0,29	6,10	5,69	0,41
07:36	4,04	4,44	0,40	6,60	6,83	0,23	7,30	7,00	0,30	6,30	5,81	0,49
08:00	4,04	4,18	0,14	6,61	7,01	0,40	7,30	6,99	0,31	5,82	5,65	0,17
08:24	4,04	4,24	0,20	6,55	7,00	0,45	7,27	6,97	0,30	6,17	5,73	0,44

Tabela 30: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R3, R5, R7 e R10 (continuação).

Hora	Pressão [bar] R3			Pressão [bar] R5			Pressão [bar] R7			Pressão [bar] R10		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
08:48	4,03	2,13	1,90	6,48	6,82	0,34	7,01	6,95	0,06	6,05	5,71	0,34
09:12	4,03	0,42	3,61	6,39	6,74	0,35	6,90	6,36	0,54	6,06	5,63	0,43
09:36	4,03	0,42	3,61	6,38	6,55	0,17	5,60	5,44	0,16	5,61	5,20	0,41
10:00	0,75	0,42	0,33	6,20	6,56	0,36	5,64	5,49	0,15	5,05	5,08	0,03
10:24	0,75	0,43	0,32	6,18	6,65	0,47	5,40	5,42	0,02	4,94	4,99	0,05
10:48	0,75	0,44	0,31	6,15	6,64	0,49	5,10	5,05	0,05	4,80	4,86	0,06
11:12	0,75	0,45	0,30	6,13	6,64	0,51	4,90	4,86	0,04	4,47	4,85	0,38
11:36	0,75	0,46	0,29	6,13	6,61	0,48	4,94	5,01	0,07	4,35	4,53	0,18
12:00	0,75	0,48	0,27	6,11	6,60	0,49	4,86	5,08	0,22	3,41	4,14	0,73
12:24	0,75	0,48	0,27	6,10	6,54	0,44	4,62	4,84	0,22	3,35	4,10	0,75
12:48	0,75	0,48	0,27	6,10	6,52	0,42	4,47	4,68	0,21	3,78	4,17	0,39
13:12	0,75	0,48	0,27	6,17	6,54	0,37	4,51	4,76	0,25	4,16	4,25	0,09
13:36	0,75	0,47	0,28	6,16	6,25	0,09	4,53	4,91	0,38	4,08	4,28	0,20
14:00	0,75	0,47	0,28	0,65	5,01	4,36	4,38	4,79	0,41	4,02	4,29	0,27
14:24	0,75	0,46	0,29	0,67	5,00	4,33	4,24	4,65	0,41	3,98	4,30	0,32
14:48	0,75	0,45	0,30	0,70	6,02	5,32	4,31	4,70	0,39	3,96	4,46	0,50
15:12	0,75	0,45	0,30	6,08	6,47	0,39	6,32	4,85	1,47	3,91	4,49	0,58
15:36	0,75	0,45	0,30	6,28	6,46	0,18	4,30	4,81	0,51	3,92	4,38	0,46
16:00	0,75	0,45	0,30	6,40	6,43	0,03	4,20	4,70	0,50	3,92	3,99	0,07
16:24	0,75	0,46	0,29	6,14	6,47	0,33	4,30	4,75	0,45	3,10	2,64	0,46
16:48	0,75	0,47	0,28	6,15	6,53	0,38	4,50	4,96	0,46	3,02	2,74	0,28
17:12	0,75	0,48	0,27	6,12	6,53	0,41	4,50	5,06	0,56	3,00	3,43	0,43
17:36	0,75	0,49	0,26	6,11	6,46	0,35	4,40	4,85	0,45	3,10	4,06	0,96

Tabela 31: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R3, R5, R7 e R10 (continuação).

Hora	Pressão [bar] R3			Pressão [bar] R5			Pressão [bar] R7			Pressão [bar] R10		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
18:00	0,75	0,50	0,25	6,12	6,47	0,35	4,44	4,81	0,37	4,20	3,96	0,24
18:24	0,75	0,52	0,23	6,12	6,57	0,45	4,59	5,73	1,14	4,29	4,02	0,27
18:48	0,75	0,54	0,21	6,33	6,64	0,31	6,42	6,49	0,07	4,30	4,07	0,23
19:12	0,75	0,56	0,19	6,38	6,62	0,24	6,34	6,34	0,00	4,41	4,18	0,23
19:36	0,75	0,59	0,16	6,34	6,62	0,28	6,31	6,26	0,05	4,05	3,90	0,15
20:00	0,76	0,62	0,14	6,28	6,67	0,39	6,40	6,46	0,06	3,87	3,60	0,27
20:24	0,76	0,66	0,10	6,28	6,63	0,35	6,44	6,58	0,14	3,98	4,42	0,44
20:48	0,76	0,68	0,08	6,30	6,48	0,18	6,30	5,47	0,83	4,02	4,36	0,34
21:12	0,76	0,67	0,09	6,32	6,42	0,10	4,50	4,85	0,35	4,10	4,37	0,27
21:36	0,76	0,65	0,11	6,24	6,50	0,26	4,61	4,96	0,35	3,60	4,31	0,71
22:00	0,76	0,62	0,14	6,23	6,56	0,33	4,90	5,22	0,32	3,25	4,47	1,22
22:24	0,76	0,59	0,17	6,06	5,62	0,44	4,99	5,36	0,37	3,40	4,83	1,43
22:48	0,77	0,57	0,20	6,25	5,05	1,20	4,91	5,13	0,22	4,10	5,00	0,90
23:12	0,77	0,56	0,21	6,27	5,32	0,95	4,96	5,09	0,13	4,71	5,20	0,49
23:36	0,77	0,56	0,21	6,28	6,66	0,38	5,16	5,28	0,12	4,90	5,32	0,42
Pontos c/ diferença >0,5	9			12			9			10		
% calibração	85%			80%			85%			83%		

Tabela 32: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R12, R15, R17 e R1Gafanhas.

Hora	Pressão [bar] R12			Pressão [bar] R15			Pressão [bar] R17			Pressão [bar] RGafanhas		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido		Modelado	Medido	Diferença
00:00	4,67	4,34	0,33	4,49	4,01	0,48	4,64	4,32	0,32	6,93	6,90	0,03
00:24	4,89	4,23	0,66	4,71	3,97	0,74	4,86	4,21	0,65	7,09	7,17	0,08
00:48	5,10	4,39	0,71	4,90	4,00	0,90	5,05	4,33	0,72	7,31	7,42	0,11
01:12	5,25	4,54	0,71	5,06	4,15	0,91	5,21	4,37	0,84	7,51	7,58	0,07
01:36	4,38	4,50	0,12	2,32	4,17	1,85	0,17	4,43	4,26	7,64	7,66	0,02
02:00	3,93	4,54	0,61	2,09	4,20	2,11	1,78	4,50	2,72	7,83	7,73	0,10
02:24	3,77	4,48	0,71	2,01	4,21	2,20	0,19	4,55	4,36	7,93	7,77	0,16
02:48	4,05	4,48	0,43	2,17	4,25	2,08	0,20	4,60	4,40	7,95	7,80	0,15
03:12	4,32	4,42	0,10	2,31	3,85	1,54	0,22	4,18	3,96	7,97	7,10	0,87
03:36	4,95	4,27	0,68	4,09	3,42	0,67	3,43	3,49	0,06	7,14	6,87	0,27
04:00	5,28	4,77	0,51	5,05	4,64	0,41	5,16	4,95	0,21	7,18	6,87	0,31
04:24	4,92	4,71	0,21	4,71	4,50	0,21	4,82	4,92	0,10	7,18	6,84	0,34
04:48	5,05	4,66	0,39	4,83	4,45	0,38	4,05	4,88	0,83	7,18	6,85	0,33
05:12	5,22	4,72	0,50	5,00	4,51	0,49	5,12	4,94	0,18	8,00	7,90	0,10
05:36	5,35	4,72	0,63	5,14	4,53	0,61	5,27	4,95	0,32	8,00	7,84	0,16
06:00	5,45	4,75	0,70	5,24	4,52	0,72	5,38	4,96	0,42	8,00	7,90	0,10
06:24	5,41	4,73	0,68	5,21	4,57	0,64	5,36	4,97	0,39	8,00	7,90	0,10
06:48	3,68	4,25	0,57	0,30	2,81	2,51	0,51	3,25	2,74	8,00	7,85	0,15
07:12	3,48	3,96	0,48	0,28	1,98	1,70	0,52	2,47	1,95	8,00	7,85	0,15
07:36	3,76	4,00	0,24	0,29	2,23	1,94	0,54	2,74	2,20	8,00	7,84	0,16
08:00	4,02	4,12	0,10	0,31	2,67	2,36	0,56	3,16	2,60	7,97	7,83	0,14
08:24	4,06	4,21	0,15	0,32	3,06	2,74	0,57	3,55	2,98	7,95	7,81	0,14

Tabela 33: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R12, R15, R17 e R1Gafanhas (continuação).

Hora	Pressão [bar] R12			Pressão [bar] R15			Pressão [bar] R17			Pressão [bar] RGafanhas		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido		Modelado	Medido	Diferença
08:48	3,55	4,27	0,72	0,33	3,30	2,97	0,57	3,78	3,21	7,59	7,79	0,20
09:12	3,23	4,19	0,96	0,34	3,30	2,96	0,57	3,73	3,16	7,27	7,12	0,15
09:36	3,10	4,03	0,93	0,33	3,13	2,80	0,55	3,60	3,05	7,40	6,49	0,91
10:00	3,37	4,12	0,75	0,34	2,94	2,60	0,57	3,36	2,79	6,19	6,23	0,04
10:24	3,49	4,19	0,70	0,35	3,18	2,83	0,58	3,65	3,07	5,82	6,09	0,27
10:48	4,65	4,23	0,42	4,47	3,36	1,11	4,62	3,82	0,80	5,45	5,41	0,04
11:12	4,45	4,15	0,30	4,27	3,35	0,92	4,43	3,82	0,61	5,26	5,10	0,16
11:36	4,35	3,61	0,74	4,19	1,74	2,45	4,34	2,18	2,16	5,31	5,39	0,08
12:00	4,62	3,90	0,72	4,45	2,75	1,70	4,60	3,19	1,41	5,20	5,50	0,30
12:24	4,76	4,16	0,60	4,58	3,29	1,29	4,73	3,75	0,98	5,10	5,07	0,03
12:48	4,54	4,25	0,29	4,37	3,47	0,90	4,52	3,93	0,59	4,80	4,75	0,05
13:12	4,35	4,21	0,14	4,19	3,56	0,63	4,34	4,03	0,31	4,80	4,92	0,12
13:36	4,28	4,29	0,01	4,12	3,96	0,16	4,27	4,45	0,18	4,80	5,20	0,40
14:00	3,07	4,43	1,36	0,28	4,26	3,98	0,50	4,70	4,20	4,62	4,98	0,36
14:24	3,36	4,49	1,13	0,29	4,32	4,03	0,52	4,76	4,24	4,44	4,70	0,26
14:48	3,50	4,55	1,05	0,30	4,38	4,08	0,54	4,82	4,28	4,60	4,80	0,20
15:12	3,21	4,40	1,19	0,31	4,33	4,02	0,54	4,77	4,23	4,70	5,12	0,42
15:36	2,98	4,43	1,45	0,32	4,27	3,95	0,54	4,72	4,18	4,53	5,03	0,50
16:00	2,90	4,06	1,16	0,30	3,09	2,79	0,52	3,74	3,22	4,40	4,78	0,38
16:24	3,19	4,18	0,99	0,31	3,85	3,54	0,54	4,08	3,54	4,50	4,87	0,37
16:48	3,48	4,48	1,00	0,33	4,30	3,97	0,56	4,71	4,15	4,70	5,28	0,58
17:12	3,43	4,48	1,05	0,34	4,26	3,92	0,57	4,65	4,08	4,80	5,00	0,20
17:36	3,15	4,41	1,26	0,35	4,20	3,85	0,57	4,59	4,02	4,63	5,08	0,45

Tabela 34: Dados de verificação de calibração em função da pressão à entrada dos reservatórios R12, R15, R17 e R1Gafanhas (continuação).

Hora	Pressão [bar] R12			Pressão [bar] R15			Pressão [bar] R17			Pressão [bar] RGafanhas		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido		Modelado	Medido	Diferença
18:00	4,54	4,36	0,18	4,37	4,14	0,23	4,52	4,53	0,01	4,72	5,00	0,28
18:24	4,67	4,38	0,29	4,61	4,18	0,43	4,76	4,56	0,20	6,53	5,95	0,58
18:48	5,01	4,00	1,01	4,82	2,86	1,96	4,97	3,18	1,79	6,54	6,79	0,25
19:12	4,88	3,81	1,07	4,69	1,98	2,71	4,84	2,54	2,30	6,39	6,49	0,10
19:36	4,64	3,83	0,81	4,46	2,28	2,18	4,61	2,73	1,88	6,34	6,30	0,04
20:00	4,58	3,81	0,77	4,41	2,56	1,85	4,56	2,99	1,57	6,47	6,74	0,27
20:24	4,82	3,52	1,30	4,64	1,83	2,81	4,79	2,05	2,74	6,56	6,98	0,42
20:48	3,66	3,82	0,16	0,28	2,60	2,32	0,52	2,83	2,31	6,40	5,87	0,53
21:12	3,73	3,95	0,22	0,28	2,55	2,27	0,53	3,00	2,47	4,75	5,10	0,35
21:36	3,35	3,97	0,62	0,29	2,77	2,48	0,53	3,22	2,69	4,89	5,32	0,43
22:00	3,26	3,95	0,69	0,31	2,95	2,64	0,53	3,40	2,87	5,21	5,76	0,55
22:24	3,54	3,99	0,45	0,32	3,11	2,79	0,55	3,55	3,00	5,40	6,00	0,60
22:48	3,81	4,10	0,29	0,33	3,31	2,98	0,58	3,76	3,18	5,26	5,61	0,35
23:12	4,07	4,23	0,16	0,34	3,53	3,19	0,59	3,97	3,38	5,33	5,55	0,22
23:36	4,05	4,20	0,15	0,33	3,32	2,99	0,58	3,76	3,18	5,72	5,89	0,17
Pontos c/ diferença >0,5	36			52			48			7		
% calibração	40%			13%			20%			88%		

Tabela 35: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Palhaça, Ervedal, Lavandeira e Mamarrosa.

Hora	Pressão [bar] Palhaça			Pressão [bar] Ervedal			Pressão [bar] Lavandeira			Pressão [bar] Mamarrosa		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
00:00	3,41	3,87	0,46	6,30	5,14	1,16	2,90	2,91	0,01	5,40	5,12	0,28
00:24	3,43	3,86	0,43	0,40	5,13	4,73	2,50	2,87	0,37	4,57	5,06	0,49
00:48	3,38	3,53	0,15	0,34	1,05	0,71	2,44	2,40	0,04	4,10	4,07	0,03
01:12	3,33	3,53	0,20	0,00	0,22	0,22	2,37	2,39	0,02	2,62	3,03	0,41
01:36	3,73	3,51	0,22	6,23	0,22	6,01	3,17	2,37	0,80	3,24	2,84	0,40
02:00	4,05	3,86	0,19	6,30	4,93	1,37	3,20	2,86	0,34	4,35	3,94	0,41
02:24	4,29	4,05	0,24	6,33	5,23	1,10	3,26	3,01	0,25	5,01	4,67	0,34
02:48	4,12	4,05	0,07	6,34	5,24	1,10	3,28	3,02	0,26	5,48	5,00	0,48
03:12	4,04	4,00	0,04	6,34	5,22	1,12	3,29	3,01	0,28	5,65	5,17	0,48
03:36	4,08	4,01	0,07	6,35	5,22	1,13	3,30	3,01	0,29	5,73	5,24	0,49
04:00	4,14	4,02	0,12	6,35	5,23	1,12	3,30	3,01	0,29	5,74	5,25	0,49
04:24	4,17	4,03	0,14	6,35	5,24	1,11	3,31	3,03	0,28	5,75	5,26	0,49
04:48	4,07	4,02	0,05	6,35	5,23	1,12	3,30	3,02	0,28	5,75	5,26	0,49
05:12	3,97	4,01	0,04	4,72	5,23	0,51	3,03	3,02	0,01	5,59	5,26	0,33
05:36	3,80	3,89	0,09	0,80	4,32	3,52	2,63	2,72	0,09	5,22	5,04	0,18
06:00	3,73	3,69	0,04	1,30	0,22	1,08	2,60	2,51	0,09	5,08	4,87	0,21
06:24	3,52	3,63	0,11	0,24	0,22	0,02	2,47	2,47	0,00	4,77	4,66	0,11
06:48	3,95	3,57	0,38	6,23	0,22	6,01	3,28	2,40	0,88	4,00	3,79	0,21
07:12	3,94	3,77	0,17	6,18	4,81	1,37	3,12	2,72	0,40	2,55	2,91	0,36
07:36	3,84	3,87	0,03	6,20	5,08	1,12	3,08	2,86	0,22	3,53	2,97	0,56
08:00	3,71	3,85	0,14	6,22	5,10	1,12	3,07	2,87	0,20	4,37	3,95	0,42
08:24	3,84	3,87	0,03	6,24	5,12	1,12	3,05	2,89	0,16	4,79	4,52	0,27

Tabela 36: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Palhaça, Ervedal, Lavandeira e Mamarrosa (continuação).

Hora	Pressão [bar] Palhaça			Pressão [bar] Ervedal			Pressão [bar] Lavandeira			Pressão [bar] Mamarrosa		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
08:48	3,57	3,90	0,33	4,59	5,13	0,54	2,70	2,90	0,20	5,00	4,82	0,18
09:12	2,72	3,69	0,97	0,83	4,47	3,64	2,32	2,57	0,25	4,81	4,86	0,05
09:36	3,02	3,37	0,35	0,53	0,23	0,30	2,38	2,32	0,06	4,94	4,67	0,27
10:00	3,35	3,52	0,17	0,10	0,23	0,13	2,31	2,41	0,10	5,06	4,78	0,28
10:24	3,19	3,57	0,38	0,94	0,23	0,71	2,28	2,41	0,13	5,04	4,79	0,25
10:48	2,90	3,52	0,62	0,21	0,23	0,02	2,22	2,39	0,17	4,64	4,77	0,13
11:12	2,73	3,34	0,61	0,19	0,23	0,04	2,22	2,25	0,03	4,08	4,26	0,18
11:36	3,05	3,27	0,22	0,18	0,23	0,05	2,16	2,17	0,01	3,13	3,27	0,14
12:00	2,96	3,25	0,29	0,22	0,23	0,01	2,16	2,13	0,03	1,67	2,36	0,69
12:24	2,77	3,20	0,43	0,21	0,23	0,02	2,23	2,09	0,14	1,94	1,87	0,07
12:48	2,82	3,20	0,38	0,16	0,23	0,07	2,24	2,14	0,10	3,33	2,85	0,48
13:12	3,51	3,30	0,21	3,27	0,23	3,04	2,67	2,20	0,47	4,02	3,73	0,29
13:36	3,21	3,69	0,48	6,20	4,48	1,72	3,03	2,77	0,26	4,83	4,46	0,37
14:00	2,56	3,71	1,15	5,30	5,05	0,25	2,74	2,83	0,09	4,88	4,78	0,10
14:24	2,14	3,51	1,37	0,14	4,45	4,31	2,37	2,61	0,24	4,75	4,77	0,02
14:48	2,60	3,25	0,65	0,25	0,22	0,03	2,34	2,24	0,10	4,79	4,56	0,23
15:12	2,50	3,28	0,78	0,22	0,23	0,01	2,32	2,23	0,09	3,93	4,42	0,49
15:36	2,81	3,18	0,37	0,22	0,23	0,01	2,27	2,14	0,13	3,30	3,66	0,36
16:00	3,07	3,13	0,06	3,86	0,23	3,63	2,25	2,09	0,16	1,90	2,68	0,78
16:24	2,97	3,24	0,27	6,06	3,18	2,88	2,83	2,33	0,50	2,01	2,03	0,02
16:48	2,95	3,67	0,72	4,65	4,98	0,33	2,57	2,76	0,19	2,86	2,93	0,07
17:12	2,80	3,70	0,90	0,15	5,04	4,89	2,40	2,82	0,42	4,21	4,00	0,21
17:36	2,95	3,32	0,37	0,15	0,57	0,42	2,16	2,24	0,08	4,56	4,18	0,38

Tabela 37: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Palhaça, Ervedal, Lavandeira e Mamarrosa (continuação).

Hora	Pressão [bar] Palhaça			Pressão [bar] Ervedal			Pressão [bar] Lavandeira			Pressão [bar] Mamarrosa		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
18:00	2,98	3,37	0,39	0,16	0,23	0,07	2,22	2,25	0,03	4,86	4,45	0,41
18:24	2,96	3,39	0,43	0,14	0,23	0,09	2,28	2,29	0,01	4,94	4,59	0,35
18:48	3,05	3,44	0,39	0,21	0,22	0,01	2,32	2,33	0,01	4,99	4,72	0,27
19:12	3,55	3,49	0,06	1,86	0,22	1,64	2,52	2,37	0,15	5,20	4,73	0,47
19:36	3,19	3,66	0,47	6,15	4,11	2,04	2,91	2,67	0,24	4,46	4,55	0,09
20:00	2,90	3,73	0,83	3,55	5,04	1,49	2,37	2,81	0,44	3,05	3,67	0,62
20:24	3,06	3,53	0,47	0,20	3,41	3,21	2,27	2,38	0,11	1,50	2,59	1,09
20:48	3,07	3,23	0,16	0,23	0,20	0,03	2,32	2,12	0,20	2,48	2,15	0,33
21:12	2,95	3,26	0,31	0,18	0,20	0,02	2,35	2,16	0,19	3,09	3,07	0,02
21:36	3,43	3,31	0,12	5,65	0,20	5,45	3,10	2,24	0,86	4,02	3,83	0,19
22:00	3,60	3,42	0,18	6,26	2,55	3,71	3,09	2,37	0,72	5,19	4,26	0,93
22:24	3,63	3,90	0,27	6,28	5,13	1,15	3,13	2,92	0,21	5,44	4,95	0,49
22:48	3,50	3,88	0,38	6,27	5,15	1,12	3,09	2,92	0,17	5,51	5,09	0,42
23:12	3,65	3,89	0,24	6,29	5,16	1,13	3,18	2,93	0,25	5,53	5,14	0,39
23:36	3,82	3,91	0,09	6,29	5,18	1,11	3,16	2,95	0,21	5,54	5,16	0,38
Pontos c/ diferença >0,5	10			39			4			6		
% calibração	83%			35%			93%			90%		

Tabela 38: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Bustos, R0-Centro de Saúde, R1-Cortal e R4-Vale Grande.

Hora	Pressão [bar] Bustos			Pressão [bar] R0 Centro de Saúde			Pressão [bar] R1 Cortal			Pressão [bar] R4 Vale Grande		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
00:00	3,33	3,27	0,06	4,80	4,75	0,05	3,61	3,53	0,08	3,35	3,31	0,04
00:24	3,15	3,34	0,19	4,69	4,64	0,05	3,52	3,47	0,05	3,35	3,33	0,02
00:48	2,80	2,95	0,15	4,60	4,47	0,13	3,43	3,27	0,16	3,18	3,13	0,05
01:12	2,46	2,83	0,37	4,67	4,61	0,06	3,53	3,43	0,10	3,30	3,27	0,03
01:36	3,12	2,77	0,35	4,79	4,71	0,08	3,67	3,58	0,09	3,60	3,57	0,03
02:00	3,43	3,10	0,33	4,80	4,76	0,04	3,70	3,65	0,05	3,65	3,67	0,02
02:24	3,80	3,40	0,40	4,83	4,80	0,03	3,74	3,69	0,05	3,70	3,73	0,03
02:48	3,90	3,50	0,40	4,71	4,71	0,00	3,59	3,59	0,00	3,59	3,67	0,08
03:12	3,93	3,50	0,43	4,73	4,70	0,03	3,61	3,56	0,05	3,61	3,67	0,06
03:36	3,94	3,51	0,43	4,81	4,73	0,08	3,69	3,63	0,06	3,63	3,64	0,01
04:00	3,94	3,52	0,42	4,86	4,79	0,07	3,74	3,68	0,06	3,69	3,71	0,02
04:24	3,95	3,53	0,42	4,90	4,84	0,06	3,78	3,73	0,05	3,74	3,77	0,03
04:48	3,95	3,53	0,42	4,94	4,83	0,11	3,81	3,70	0,11	3,77	3,75	0,02
05:12	3,79	3,53	0,26	4,95	4,88	0,07	3,79	3,74	0,05	3,75	3,79	0,04
05:36	3,44	3,36	0,08	4,85	4,83	0,02	3,64	3,63	0,01	3,63	3,72	0,09
06:00	2,87	3,06	0,19	4,93	4,91	0,02	3,75	3,65	0,10	3,76	3,74	0,02
06:24	2,65	2,91	0,26	5,18	5,11	0,07	3,85	3,80	0,05	3,89	3,95	0,06
06:48	2,38	2,74	0,36	5,26	5,25	0,01	3,88	3,88	0,00	3,93	4,03	0,10
07:12	1,95	2,81	0,86	5,30	5,34	0,04	3,90	3,93	0,03	3,95	4,08	0,13
07:36	2,38	2,86	0,48	5,28	5,35	0,07	3,87	3,94	0,07	3,93	4,08	0,15
08:00	2,61	2,96	0,35	5,10	5,25	0,15	3,67	3,77	0,10	3,66	3,92	0,26
08:24	2,64	3,06	0,42	5,09	5,13	0,04	3,70	3,70	0,00	3,67	3,77	0,10

Tabela 39: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Bustos, R0-Centro de Saúde, R1-Cortal e R4-Vale Grande (continuação).

Hora	Pressão [bar] Bustos			Pressão [bar] R0 Centro de Saúde			Pressão [bar] R1 Cortal			Pressão [bar] R4 Vale Grande		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
08:48	2,75	3,11	0,36	5,05	5,05	0,00	3,69	3,65	0,04	3,50	3,70	0,20
09:12	2,55	3,00	0,45	4,91	4,92	0,01	3,55	3,53	0,02	3,46	3,55	0,09
09:36	2,69	2,76	0,07	4,74	4,76	0,02	3,39	3,29	0,10	3,46	3,36	0,10
10:00	2,97	2,93	0,04	4,72	4,74	0,02	3,42	3,38	0,04	3,24	3,31	0,07
10:24	2,94	2,98	0,04	4,61	4,65	0,04	3,28	3,29	0,01	3,23	3,28	0,05
10:48	2,72	2,96	0,24	4,29	4,46	0,17	2,88	3,01	0,13	2,86	3,08	0,22
11:12	2,49	2,75	0,26	3,94	3,93	0,01	2,41	2,20	0,21	2,57	2,63	0,06
11:36	1,90	2,55	0,65	4,28	3,84	0,44	2,22	1,98	0,24	2,86	2,52	0,34
12:00	1,60	2,37	0,77	4,65	4,56	0,09	3,42	3,31	0,11	3,02	2,93	0,09
12:24	1,65	2,27	0,62	4,27	4,36	0,09	2,96	3,04	0,08	2,53	2,67	0,14
12:48	1,97	2,39	0,42	4,34	4,31	0,03	3,06	2,88	0,18	2,59	2,52	0,07
13:12	2,61	2,54	0,07	4,35	4,37	0,02	3,08	3,07	0,01	2,58	2,58	0,00
13:36	2,44	2,87	0,43	4,19	4,32	0,13	2,86	2,93	0,07	2,47	2,54	0,07
14:00	2,50	2,99	0,49	3,72	3,70	0,02	2,25	2,19	0,06	2,14	2,14	0,00
14:24	2,30	2,88	0,58	3,72	3,69	0,03	2,25	1,87	0,38	2,12	2,11	0,01
14:48	2,30	2,63	0,33	3,72	3,74	0,02	2,20	1,83	0,37	2,35	2,11	0,24
15:12	2,13	2,61	0,48	4,35	4,37	0,02	3,11	3,24	0,13	2,25	2,17	0,08
15:36	1,70	2,41	0,71	4,04	4,05	0,01	2,21	2,55	0,34	1,96	2,04	0,08
16:00	1,50	2,24	0,74	3,66	3,85	0,19	2,20	1,82	0,38	1,95	1,93	0,02
16:24	1,30	2,26	0,96	4,52	4,37	0,15	3,30	2,91	0,39	2,32	2,16	0,16
16:48	1,70	2,63	0,93	4,30	4,40	0,10	3,06	3,14	0,08	2,27	2,23	0,04
17:12	2,39	2,86	0,47	4,15	4,24	0,09	2,87	2,89	0,02	2,29	2,30	0,01
17:36	2,68	2,67	0,01	4,31	4,22	0,09	2,24	2,86	0,62	2,47	2,30	0,17
18:00	2,81	2,77	0,04	4,26	4,24	0,02	2,99	2,94	0,05	2,43	2,34	0,09

Tabela 40: Dados de verificação de calibração em função da pressão nos pontos de entrega de Bustos, R0-Centro de Saúde, R1-Cortal e R4-Vale Grande (continuação).

Hora	Pressão [bar] Bustos			Pressão [bar] R0 Centro de Saúde			Pressão [bar] R1 Cortal			Pressão [bar] R4 Vale Grande		
	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença	Modelado	Medido	Diferença
18:24	2,81	2,83	0,02	3,92	4,14	0,22	2,56	2,74	0,18	2,24	2,28	0,04
18:48	2,83	2,88	0,05	3,71	3,59	0,12	2,25	2,07	0,18	2,09	2,00	0,09
19:12	3,17	2,91	0,26	3,69	3,64	0,05	2,23	1,84	0,39	2,07	2,03	0,04
19:36	2,72	3,00	0,28	4,05	3,92	0,13	2,71	2,21	0,50	2,50	2,26	0,24
20:00	2,20	2,94	0,74	4,44	4,45	0,01	3,18	3,19	0,01	2,50	2,38	0,12
20:24	1,60	2,58	0,98	4,45	4,44	0,01	3,20	3,14	0,06	2,52	2,45	0,07
20:48	1,78	2,26	0,48	4,43	4,54	0,11	3,15	3,23	0,08	2,54	2,55	0,01
21:12	1,94	2,38	0,44	4,48	4,47	0,01	3,16	3,12	0,04	2,69	2,59	0,10
21:36	2,85	2,54	0,31	4,51	4,36	0,15	3,17	2,93	0,24	2,74	2,59	0,15
22:00	3,20	2,74	0,46	4,65	4,51	0,14	3,31	3,10	0,21	2,79	2,71	0,08
22:24	3,36	3,29	0,07	4,79	4,75	0,04	3,44	3,36	0,08	3,08	2,96	0,12
22:48	3,38	3,30	0,08	4,71	4,78	0,07	3,31	3,35	0,04	3,02	3,08	0,06
23:12	3,36	3,30	0,06	4,77	4,75	0,02	3,36	3,26	0,10	3,16	3,11	0,05
23:36	3,34	3,32	0,02	4,92	5,06	0,14	3,48	3,46	0,02	3,19	3,24	0,05
Pontos c/ diferença >0,5	11			0			1			0		
% calibração	82%			100%			98%			100%		

Tabela 41: Dados de verificação de calibração em função do caudal nas estações elevatórias do SRC.

Hora	EE À-dos-Ferreiros [m³/h]			EE1 [m³/h]			EE2 [m³/h]			EE Beco [m³/h]			EE RPA-R4 [m³/h]			EE ETA-R16 [m³/h]		
	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro
00:00	0,00	0,00	0%	1376	1344	2%	1377	1363	1%	151,2	151,8	0%	50,7	50,6	0%	0,00	0,00	0%
00:24	0,00	0,00	0%	1376	1344	2%	1377	1363	1%	151,3	151,8	0%	50,7	50,6	0%	0,00	0,00	0%
00:48	33,5	33,9	1%	1376	1344	2%	1376	1363	1%	151,3	151,8	0%	50,7	50,6	0%	0,00	0,00	0%
01:12	17,2	15,7	10%	1376	1344	2%	1376	1363	1%	151,5	151,8	0%	50,7	50,6	0%	0,00	0,00	0%
01:36	0,00	0,00	0%	1376	1344	2%	1398	1363	3%	151,3	151,8	0%	50,7	50,4	1%	0,00	0,00	0%
02:00	0,00	0,00	0%	768,9	732,9	5%	779,7	744,9	5%	151,3	151,8	0%	50,6	50,5	0%	13,4	13,4	0%
02:24	0,00	0,00	0%	770,7	732,9	5%	779,6	744,9	5%	151,3	151,8	0%	50,6	50,6	0%	13,4	13,3	1%
02:48	0,00	0,00	0%	772,2	732,9	5%	779,8	744,9	5%	151,3	151,8	0%	50,6	50,4	0%	13,4	13,2	2%
03:12	0,00	0,00	0%	773,5	732,9	6%	780,1	744,9	5%	151,3	151,8	0%	50,5	50,6	0%	13,4	13,1	2%
03:36	0,00	0,00	0%	774,6	732,9	6%	780,6	744,9	5%	151,3	151,8	0%	50,5	50,6	0%	13,4	12,7	6%
04:00	0,00	0,00	0%	1395	1342	4%	1397	1364	2%	151,4	151,2	0%	20,7	20,5	1%	13,4	8,90	51%
04:24	0,00	0,00	0%	1396	1342	4%	1396	1364	2%	151,5	151,2	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
04:48	0,00	0,00	0%	776,0	732,9	6%	780,8	744,9	5%	151,4	151,8	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
05:12	0,00	0,00	0%	776,8	732,9	6%	781,4	744,9	5%	280,2	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
05:36	0,00	0,00	0%	777,6	732,9	6%	781,7	744,9	5%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
06:00	0,00	0,00	0%	778,3	732,9	6%	781,4	744,9	5%	280,1	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
06:24	0,00	0,00	0%	778,9	732,9	6%	781,8	744,9	5%	280,5	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
06:48	0,00	0,00	0%	779,4	732,9	6%	781,7	744,9	5%	381,0	380,9	0%	20,7	20,5	1%	13,4	11,6	16%
07:12	0,00	0,00	0%	779,7	732,9	6%	781,7	744,9	5%	280,1	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,4	12,9	4%
07:36	31,2	32,7	5%	779,9	732,9	6%	781,7	744,9	5%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,4	12,2	10%
08:00	0,00	0,00	0%	1402	1344	4%	1398	1363	3%	151,3	151,8	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
08:24	0,00	0,00	0%	1401	1344	4%	1397	1363	3%	151,4	151,8	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%

Tabela 42: Dados de verificação de calibração em função do caudal nas estações elevatórias do SRC (continuação).

Hora	EE À-dos-Ferreiros [m³/h]			EE1 [m³/h]			EE2 [m³/h]			EE Beco [m³/h]			EE RPA-R4 [m³/h]			EE ETA-R16 [m³/h]		
	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro
08:48	0,00	0,00	0%	1400	1344	4%	1396	1363	2%	151,3	151,8	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
09:12	0,00	0,00	0%	779,7	732,9	6%	781,7	744,9	5%	151,3	151,8	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
09:36	0,00	0,00	0%	779,9	732,9	6%	781,7	744,9	5%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
10:00	0,00	0,00	0%	1397	1344	4%	1396	1363	2%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
10:24	0,00	0,00	0%	1397	1344	4%	1397	1363	3%	151,3	151,8	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
10:48	31,5	32,2	2%	1397	1344	4%	1398	1363	3%	151,3	151,8	0%	20,7	20,5	1%	13,5	13,3	2%
11:12	0,00	0,00	0%	1397	1344	4%	1398	1363	3%	280,1	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,5	13,2	2%
11:36	0,00	0,00	0%	1398	1344	4%	1397	1363	3%	280,2	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,5	13,1	3%
12:00	0,00	0,00	0%	1399	1344	4%	1400	1363	3%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,5	13,1	3%
12:24	0,00	0,00	0%	1399	1344	4%	1402	1363	3%	381,3	380,9	0%	20,7	20,5	1%	13,5	13,0	4%
12:48	0,00	0,00	0%	1400	1344	4%	1402	1363	3%	381,0	380,9	0%	20,7	20,5	1%	13,5	12,9	5%
13:12	32,1	33,8	5%	1886	1754	8%	1800	1793	0%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,5	12,7	6%
13:36	14,7	15,5	5%	1868	1754	7%	1799	1793	0%	280,2	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,4	12,6	6%
14:00	0,00	0,00	0%	1861	1754	6%	1797	1793	0%	280,2	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,4	12,5	7%
14:24	0,00	0,00	0%	1867	1754	6%	1791	1793	0%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,4	12,3	9%
14:48	0,00	0,00	0%	1855	1754	6%	1789	1793	0%	280,3	277,9	1%	20,7	20,5	1%	13,4	8,30	61%
15:12	0,00	0,00	0%	1375	1344	2%	1393	1363	2%	381,0	380,9	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
15:36	0,00	0,00	0%	1386	1344	3%	1390	1363	2%	381,0	380,9	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
16:00	0,00	0,00	0%	1392	1344	4%	1384	1363	2%	381,1	380,9	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
16:24	31,6	32,9	4%	1395	1344	4%	1387	1363	2%	381,1	380,9	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
16:48	31,3	31,9	2%	1396	1344	4%	1391	1363	2%	381,0	380,9	0%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
17:12	0,00	0,00	0%	1882	1754	7%	1801	1793	0%	280,0	277,9	1%	20,7	20,5	1%	0,00	0,00	0%
17:36	0,00	0,00	0%	1866	1754	6%	1802	1793	0%	280,1	277,9	1%	50,8	53,4	5%	13,4	12,8	5%

Tabela 43: Dados de verificação de calibração em função do caudal nas estações elevatórias do SRC (continuação).

Hora	EE À-dos-Ferreiros [m³/h]			EE1 [m³/h]			EE2 [m³/h]			EE Beco [m³/h]			EE RPA-R4 [m³/h]			EE ETA-R16 [m³/h]		
	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro	Modelado	Medido	Erro
18:00	0,00	0,00	0%	1860	1754	6%	1806	1793	1%	151,3	151,8	0%	50,8	53,3	5%	13,4	13,2	2%
18:24	0,00	0,00	0%	1858	1754	6%	1797	1793	0%	280,1	277,9	1%	50,8	53,1	4%	13,4	13,1	2%
18:48	28,6	31,5	9%	1856	1754	6%	1785	1793	0%	280,1	277,9	1%	50,8	53,1	4%	13,4	13,1	2%
19:12	0,00	0,00	0%	1854	1754	6%	1785	1793	0%	381,1	380,9	0%	50,8	53,3	5%	13,4	13,0	3%
19:36	0,00	0,00	0%	1379	1344	3%	1381	1363	1%	381,1	380,9	0%	50,8	53,3	5%	13,4	12,9	4%
20:00	0,00	0,00	0%	1388	1344	3%	1387	1363	2%	381,2	380,9	0%	50,9	53,3	5%	13,4	12,8	5%
20:24	0,00	0,00	0%	1391	1344	4%	1391	1363	2%	280,3	277,9	1%	50,9	53,3	5%	13,4	12,7	6%
20:48	0,00	0,00	0%	1393	1344	4%	1390	1363	2%	280,1	277,9	1%	50,9	53,3	5%	13,4	12,5	7%
21:12	0,00	0,00	0%	1877	1754	7%	1799	1793	0%	151,3	151,8	0%	50,9	53,3	5%	13,4	12,3	9%
21:36	0,00	0,00	0%	1860	1754	6%	1797	1793	0%	280,0	277,9	1%	50,9	53,3	5%	13,4	11,9	13%
22:00	31,7	32,0	1%	1856	1754	6%	1774	1793	-1%	280,1	277,9	1%	50,9	53,3	5%	0,00	0,00	0%
22:24	0,00	0,00	0%	1380	1344	3%	1390	1363	2%	151,3	151,8	0%	50,9	53,3	5%	0,00	0,00	0%
22:48	0,00	0,00	0%	1388	1344	3%	1388	1363	2%	151,2	151,8	0%	50,9	53,3	5%	0,00	0,00	0%
23:12	0,00	0,00	0%	1392	1344	4%	1388	1363	2%	151,3	151,8	0%	50,9	53,3	5%	0,00	0,00	0%
23:36	0,00	0,00	0%	1394	1344	4%	1388	1363	2%	151,4	151,8	0%	50,9	53,3	5%	0,00	0,00	0%
Pontos c/ erro > 20%	0			0			0			0			0			2		